

Neste trabalho foram desenvolvidas dosagens de argamassas autonivelantes para contrapiso com o Resíduo do Corte de Mármore e Granitos (adição de 40% e 50% em relação a massa de cimento), e sem o resíduo, variando-se a quantidade de aditivo modificador de viscosidade e superplastificante, relação água/cimento e cimento/areia. Paralelamente foi estudado um produto comercializado. Propriedades nos estados fresco (espalhamento/flow, tempo de pega e healing time após 20 e 30min), e endurecido (resistência à compressão, tração na flexão e retração linear) foram ensaiadas conforme a ASTM 1708 (2016). Para minimizar o fenômeno de retração foram realizados ensaios comparativos com fibras sintéticas de polipropileno. A presença do resíduo melhorou a trabalhabilidade das argamassas, devido ao efeito fíler destas partículas na pasta de cimento. A mistura otimizada com 50% RCMG, fator água/cimento de 0,55, proporção cimento/areia de 1:1,5 (em massa utilizando o cimento CPV-ARI-RS) obteve resistência à compressão de  $38,89 \pm 2,10$  MPa aos 28 dias, apresentando o melhor desempenho entre as argamassas testadas. A mistura comercial obteve  $27,17 \pm 1,57$  MPa de resistência à compressão aos 28 dias. A eficácia da ação das fibras na redução da retração linear das argamassas foi comprovada em todas as idades ensaiadas.

Orientadora: Dra. Carmeane Effting

JOINVILLE, 2019



UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DOSAGEM DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE  
COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DO CORTE DE  
MÁRMORES E GRANÍTICOS (RCMG): ANÁLISE DAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

GABRIELA AZAMBUJA MENDES

JOINVILLE, 2019

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**GABRIELA AZAMBUJA MENDES**

**DOSAGEM DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS  
DO CORTE DE MÁRMORES E GRANÍTICOS (RCMG): ANÁLISE DAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

**JOINVILLE**

**2019**

**GABRIELA AZAMBUJA MENDES**

**DOSAGEM DE ARGAMASSA AUTONIVELANTE COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS  
DO CORTE DE MÁRMORES E GRANÍTICOS (RCMG): ANÁLISE DAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Tecnológicas, da Universidade do Estado de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Dra. Carmeane Effting.

**JOINVILLE**

**2019**

Mendes, Gabriela Azambuja

Dosagem de argamassa autonivelante com adição de Resíduos do Corte de Mármore e Graníticos (RCMG): Análise das propriedades físicas e mecânicas. / Gabriela Azambuja Mendes. - Joinville, 2019.

126 p.

Orientadora: Dra. Carmeane Effting

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2019.

1. Argamassa de revestimento. 2. Resíduo de mármore e granito. 3. Argamassa autonivelante. 4. Propriedades Mecânicas. I. Effting, Carmeane. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Dosagem de argamassas autonivelantes com adição de resíduos do corte de mármore e graníticos (RCMG): análise das propriedades físicas e mecânicas.

**Dosagem de Argamassa Autonivelante com Adição de Resíduos do Corte de  
Mármore e Graníticos (RCMG): Análise das Propriedades Físicas e Mecânicas**

por

**Gabriela Azambuja Mendes**

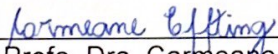
Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de

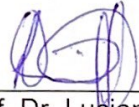
**MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL**

Área de concentração em "Engenharia Urbana e da Construção Civil"  
e aprovada em sua forma final pelo

**CURSO DE MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA CIVIL  
DO CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS DA  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA.**

Banca Examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Carmeane Effting  
CCT/UDESC (Orientadora/Presidente)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Luciano Senff  
UFSC/Joinville

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Itamar Ribeiro Gomes  
CCT/UDESC

**Joinville, SC, 5 de agosto de 2019.**

À minha avó, Maria Luiza,  
incentivadora da educação, uma  
pessoa à frente do seu tempo.  
Saudades eternas.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela oportunidade da realização do presente trabalho.

Aos meus pais, Ivana e Edson, à minha irmã Ana Laura, por todo apoio e incentivo oferecido e por acreditarem em meus ideais.

Ao meu noivo, Vitor, pela compreensão, apoio, carinho e confiança.

À minha avó, Maria Luiza, por acreditar na educação e incentivá-la na vida das pessoas.

À minha orientadora, Prof. Dra. Carneane Effting, pela orientação, dedicação, paciência, confiança e, principalmente, pela amizade durante todas as etapas de minha formação como engenheira, pesquisadora e ser humano.

Aos amigos, professores e funcionários do Departamento de Engenharia Civil, em especial ao Dr. Adilson Schackow do Laboratório de Materiais de Construção Civil, pela ajuda na realização dos ensaios realizados nesta pesquisa.

À Ana Karoliny Ferrari, pelo apoio nos experimentos laboratoriais, pela amizade sobretudo.

À empresa Marmoraria Trevo pela doação de resíduo do corte de mármore e granitos, indispensável para a realização desta pesquisa.

A todos os professores que passaram pela minha formação, meu sincero agradecimento pelos conhecimentos e ensinamentos transmitidos.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.  
(Marthin Luther King)

## RESUMO

Neste trabalho foram desenvolvidas dosagens de argamassas autonivelantes para contrapiso com o Resíduo do Corte de Mármore e Granitos (adição de 40% e 50% em relação a massa de cimento), e sem o resíduo, variando-se a quantidade de aditivo modificador de viscosidade e superplastificante, relação água/cimento e cimento/areia. Paralelamente foi estudado um produto comercializado. Propriedades nos estados fresco (espalhamento/*flow*, tempo de pega e *healing time* após 20 e 30min), e endurecido (resistência à compressão, tração na flexão e retração linear) foram ensaiadas conforme a ASTM 1708 (2016). Para minimizar o fenômeno de retração foram realizados ensaios comparativos com fibras sintéticas de polipropileno. A presença do resíduo melhorou a trabalhabilidade das argamassas, devido ao efeito *fíler* destas partículas na pasta de cimento. A mistura otimizada com 50% RCMG, fator água/cimento de 0,55, proporção cimento/areia de 1:1,5 (em massa utilizando o cimento CPV-ARI-RS) obteve resistência à compressão de  $38,89 \pm 2,10$  MPa aos 28 dias, apresentando o melhor desempenho entre as argamassas testadas. A mistura comercial obteve  $27,17 \pm 1,57$  MPa de resistência à compressão aos 28 dias. A incorporação de fibras de polipropileno diminuiu a retração linear em 68,92% aos 7 dias, 42,51% aos 14 dias, 46,48% aos 21 dias e 47,63% aos 28 dias. A eficácia da ação das fibras na redução da retração linear das argamassas foi comprovada em todas as idades ensaiadas. As argamassas desenvolvidas nesta pesquisa apresentaram resultados coerentes, quanto avaliadas às propriedades físicas nos estados fresco e endurecido, o RCMG pode ter um destino sustentável quando empregado em dosagens de argamassas autonivelantes, reduzindo, desta forma, os impactos ambientais pertinentes das atividades de exploração e beneficiamento de rochas ornamentais.

**Palavras-chave:** Argamassa Autonivelante. Resíduo do corte de Mármore e Granitos. Propriedades mecânicas.

## ABSTRACT

The objective of this work was to develop self-leveling mortars for subfloor with the Residue of Cutting of Marbles and Granites (addition of 40% and 50% in relation to the cement mass), and without the residue, varying the amount of modifier additive of viscosity and superplasticizer, relation water/cement and cement/sand. In parallel, a commercialized product was studied. Properties in the fresh states (initial flow/flow retention, time of setting and healing time after 20 and 30min), and hardened (compressive strength, flexural strength and length change) were tested according to ASTM 1708 (2016). To minimize the length change phenomenon, comparative tests with synthetic polypropylene fibers were carried out. The presence of the residue improved the workability of the mortars, due to the filler effect of these particles in the cement paste. The optimized mixture with 50% RCMG, water/cement factor of 0.55, cement/sand ratio of 1: 1.5 (by mass using CPV-ARI-RS cement) obtained a compressive strength of  $38.89 \pm 2, 10$  MPa at 28 days, presenting the best performance among the mortars tested. The commercial blend obtained  $27.17 \pm 1.57$  MPa of compressive strength at 28 days. The incorporation of polypropylene fibers decreased length change in 68.92% at 7 days, 42.51% at 14 days, 46.48% at 21 days and 47.63% at 28 days. The efficacy of fiber action in reducing length change of mortars was proven at all ages tested. The mortars developed in this research presented satisfactory results, as evaluated by the physical properties in the fresh and hardened states, the RCMG can have a sustainable destination when used in self-leveling mortar dosages, thus reducing the relevant environmental impacts of exploration and processing activities of ornamental rocks.

**Keywords:** Self-leveling mortar. Residue of the cut of Marbles and Granites. Mechanical properties.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo genérico de um sistema de piso e seus elementos .....	19
Figura 2 - Aplicação da argamassa autonivelante .....	23
Figura 3 - Cone de Kantro .....	26
Figura 4 - Cilindro espanhol (a); A pasta escoando do copo do cilindro espanhol (b). ....	28
Figura 5- Borda desuniforme (a); Borda uniforme (b). ....	28
Figura 6 - Pasta sem segregação (a); Pasta com segregação (b). ....	29
Figura 7- Deslocamento da camada de contrapiso .....	33
Figura 8 - Tubulação elétrica exposta em camada de contrapiso .....	34
Figura 9 - Lagoa de sedimentação de resíduo (a); Filtro prensa (b). ....	38
Figura 10 - Difratoograma de raios-X .....	41
Figura 11 - Representação esquemática do mecanismo de dispersão dos superplastificantes com base policaborxilato .....	46
Figura 12 - Fatores que exercem influência na aderência de argamassas sobre bases porosas. ....	54
Figura 13 - Fluxograma representativo do procedimento experimental.....	58
Figura 14 - Fluxograma para caracterização dos materiais .....	59
Figura 15 - Fluxograma dos ensaios realizados nos estados fresco e endurecido.....	60
Figura 16 - Areia 60-70 AFS (a); Mineração Veiga (b). ....	63
Figura 17 - Disco de corte de empresa beneficiadora (a); RCMG seco em estufa e peneirado (b). ....	64
Figura 18 - Fíler calcário .....	64
Figura 19 - a) Fibras de polipropileno; b) Fibras com aumento de 50x; .....	65
Figura 20 - Picnômetro .....	68
Figura 21 - Analisador de Tamanho de Partículas à laser (a); Agitador de partículas (b); .....	70
Figura 22 - Componentes para formulação de argamassa.....	72
Figura 23 - Cilindro e base para realização do ensaio (a); ensaio de espalhamento inicial (b) ..	74
Figura 24 - Ensaio de “healing time”: Argamassa no estado fresco (a); Argamassa no estado endurecido (b). ....	75
Figura 25 - Aparato de Vicat .....	76
Figura 26 - Molde utilizado para ensaios de retração com relógio comparador. ....	77
Figura 27 - Corpos de prova para retração linear .....	78
Figura 28 - Ensaio de tração na flexão .....	80
Figura 29 - Tipos de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa, considerando o revestimento aplicado diretamente ao substrato (sem chapisco)..	81
Figura 30 - Ensaio de resistência de aderência à tração .....	82
Figura 31 - Amostras embutidas em ouro (a); Microscópio Eletrônico de Varredura (b). ....	84
Figura 32 - Distribuição granulométrica do RCMG.....	87
Figura 33 - Granulometria do fíler calcário.....	89
Figura 34 - Ensaio de espalhamento: argamassas T11 (50%) (a); T12 (40%) (b); TCOMERCIAL (c).....	93
Figura 35 - Fluxograma das dosagens ensaiadas no estado fresco.....	94
Figura 36 - Fluxograma das dosagens ensaiadas no estado endurecido.....	95

Figura 37 - Ensaio de Tempo de Pega com Aparato de Vicat.....	97
Figura 38 - Resultados de resistência à compressão das argamassas estudadas com 1, 7 e 28 dias.....	99
Figura 39 - Fibras no corpo de prova de argamassa.....	102
Figura 40 - Resistência à tração na flexão das argamassas com 3 e 28 dias. ....	103
Figura 41 - Gráfico comparativo de retração linear das argamassas.....	105
Figura 42 - Gráfico de caixa "boxplot" para ensaio de resistência de aderência à tração .....	109
Figura 43 - Morfologia dos grãos de fíler calcário com aumento de 200x (a) e 1500x (b)....	110
Figura 44 - Morfologia dos grãos do RCMG com aumento de 1000x (a) e 950x (b).....	110
Figura 45 - Argamassa TCOMERCIAL, ampliação de 25x. ....	111
Figura 46 - Argamassa TCOMERCIAL com aumento de 200x .....	112
Figura 47 - Microfissura com aumento de 4.000x.....	112
Figura 48 - Argamassa T11 (50%) com aumento de 25x.....	113
Figura 49 - Ampliação de 150x da argamassa T11 (50%) .....	114
Figura 50 - Argamassa T11 FIBRA com aumento de 25x.....	114
Figura 51 - Dosagem T11 FIBRA com aumento de 500x.....	115
Figura 52 - Aumento de 3000x na argamassa T11 FIBRA .....	115

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos ensaios realizados com 03 classes de argamassas .....	24
Tabela 2 - Traço de argamassas utilizado como base para Concreto Auto-adensável .....	27
Tabela 3 - Resultados de ensaios em argamassas autonivelantes.....	29
Tabela 4 - Dosagens de argamassa autonivelante segundo autores.....	30
Tabela 5 - Ensaio de FRX no resíduo de Granito segundo autores relacionados.....	40
Tabela 6 - Tamanho das partículas utilizadas nos ensaios .....	43
Tabela 7 - Composição da argamassa convencional de contrapiso.....	49
Tabela 8 - Resultados obtidos do ensaio de retração linear.....	49
Tabela 9 - Limites de resistência de aderência à tração, NBR 13749 (ABNT,2013).....	53
Tabela 10 - Valores de retração aos 7 e 28 dias para dosagens de argamassa relacionadas ....	55
Tabela 11 - Tempos de início e fim de pega em dosagens de argamassas .....	57
Tabela 12 - Características do Cimento Portland CP II Z -32.....	62
Tabela 13 - Classificação dos agregados miúdos segundo o módulo de finura .....	69
Tabela 14 - Caracterização do material .....	85
Tabela 15 - Ensaio de granulometria da areia .....	86
Tabela 16 - Análise química por FRX.....	87
Tabela 17 - Resistência à compressão argamassas.....	88
Tabela 18 - Dosagem de argamassas elaboradas .....	90
Tabela 19 - Resumo das principais características das misturas estudadas (continua) .....	91
Tabela 19 - Resumo das principais características das misturas estudadas (continua) .....	92
Tabela 20 - Resultados dos ensaios de retenção de fluxo e tempo de regeneração.....	96
Tabela 21 - Tempo de Pega para as argamassas testadas .....	96
Tabela 22 - Resultados de resistência à compressão das argamassas estudadas .....	98
Tabela 23 - Resultados de resistência à tração das argamassas estudadas .....	101
Tabela 24 - Resultados do ensaio de retração linear .....	104
Tabela 25 - Valores de absorção de água, índice de vazios e massa específica para as argamassas testadas. ....	106
Tabela 26 - Resistência de aderência à tração: Argamassa T11 (50%).....	107
Tabela 27- Resistência de aderência à tração: Argamassa TCOMERCIAL .....	108

## LISTA DE SÍMBOLOS

RCMG	Resíduo do Corte de Mármore e Granitos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AAC	Argamassa Autonivelante de Contrapiso
FC	Fíler Calcário
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
CZP	Cinza Pesada
SP	Superplastificante
ARR	Aditivo Redutor de Retração
AMV	Aditivo Modificador de Viscosidade
RCG	Resíduo do Corte de Granitos
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de Silício
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Alumínio
Na <sub>2</sub> O	Óxido de Sódio
K <sub>2</sub> O	Óxido de Potássio
CaO	Óxido de Cálcio
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Ferro
PGS	Pó de Granito Superfino
C3S	Silicato Tricálcico
C2S	Silicato Dicálcico
CAA	Concreto Auto-Adensável
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Cálcio
MPa	Mega Pascal
CSH	Silicato de Cálcio Hidratado
CH	Hidróxido de Cálcio
SC	Sem Chapisco
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
EDS	Espectrômetro de Energia Dispersiva

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	17
1.2.1	Objetivo Geral	18
1.2.2	Objetivos Específicos	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	18
2.1	CAMADA DE CONTRAPISO	19
2.1.1	Argamassa Autonivelante para Contrapiso (AAC)	20
2.1.2	Estudos Desenvolvidos em Argamassas Autonivelantes	23
2.1.3	Manifestações Patológicas em Sistemas de Contrapiso	32
2.2	SUSTENTABILIDADE E RECICLAGEM DE RESÍDUOS	34
2.3	ADIÇÕES MINERAIS INERTES	35
2.3.1	Adição Mineral de Resíduos do corte de Mármore e Granitos (RCMG)	36
2.3.1.1	Caracterização do RCMG	39
2.2.1.2	Adição de RCMG em dosagens de concretos e argamassas	41
2.3.2	Adição mineral de Fíler Calcário	43
2.4	ADITIVOS QUÍMICOS	44
2.4.1	Aditivo Superplastificante	45
2.4.2	Aditivo Modificador de Viscosidade	47
2.5	USO DE FIBRAS EM CONCRETO E ARGAMASSAS	48
2.6	PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO	50
2.6.1	Trabalhabilidade	51
2.6.2	Viscosidade	51
2.6.3	Fluidez – Capacidade de Escoamento	51
2.6.4	Retenção de água	52
2.6.5	Aderência	52
2.6.6	Retração	54
2.6.7	Segregação e Exsudação	56
2.6.8	Tempo de pega	57
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	58
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS	61
3.1.1	Cimento Portland	61
3.1.2	Agregado miúdo	63
3.1.3	Água	63
3.1.4	Resíduo do corte de mármore e granitos	63
3.1.5	Fíler Calcário	64
3.1.6	Fibras sintéticas de Polipropileno	65
3.2	ETAPA 01: ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E PREPARO DAS ARGAMASSAS	66
3.2.1	Determinação da massa específica da areia	66
3.2.2	Determinação da massa específica do RCMG	67
3.2.3	Determinação da massa unitária	69
3.2.4	Análise Granulométrica	69
3.2.5	Granulometria à Laser	70
3.2.6	Atividade pozolânica	70

<b>3.2.7</b>	<b>Mistura das Argamassas Autonivelantes</b> .....	71
<b>3.3</b>	<b>ETAPA 02: ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS</b> .....	72
<b>3.3.1</b>	<b>Ensaio no Estado Fresco</b> .....	73
3.3.1.1	<i>Escoamento inicial – “Initial Flow”</i> .....	73
3.3.1.2	<i>Retenção de fluxo – “Flow retention”</i> .....	74
3.3.1.3	<i>Tempo de regeneração – “Healing time”</i> .....	74
3.3.1.4	<i>Determinação do tempo de pega em argamassas autonivelantes</i> .....	75
<b>3.3.2</b>	<b>Ensaio no Estado Endurecido</b> .....	76
3.3.2.1	<i>Acompanhamento da retração linear - relógio comparador</i> .....	76
3.3.2.2	<i>Determinação da Resistência à tração na flexão e à compressão</i> .....	79
3.3.2.3	<i>Determinação da resistência de aderência à tração</i> .....	80
3.3.2.4	<i>Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica</i> .....	82
3.3.2.5	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura</i> .....	83
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	85
<b>4.1</b>	<b>ETAPA 01: CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E DESENVOLVIMENTO DE DOSAGENS DE ARGAMASSA</b> .....	85
4.1.1	<b>Agregado miúdo</b> .....	85
4.1.2	<b>Resíduo do corte de Mármore e Granitos</b> .....	86
4.1.3	<b>Fíler calcário</b> .....	88
4.1.4	<b>Desenvolvimento de dosagens de argamassa</b> .....	89
<b>4.2</b>	<b>ETAPA 02: ENSAIOS REALIZADOS NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO</b> .....	94
4.2.1	<b>Retenção de fluxo - "flow retention" e tempo de regeneração – “healing time”</b> .....	96
4.2.2	<b>Tempo de Pega “Setting Time”</b> .....	96
4.2.3	<b>Resistência à compressão</b> .....	98
4.2.4	<b>Resistência à tração na flexão</b> .....	101
4.2.5	<b>Retração Linear</b> .....	103
4.2.6	<b>Massa específica, índice de vazios e absorção de água</b> .....	105
4.2.7	<b>Resistência de aderência a tração</b> .....	106
4.2.8	<b>Caracterização morfológica das argamassas com a microscopia eletrônica de varredura - MEV</b> .....	109
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	116
5.1	<b>CONCLUSÕES</b> .....	118
5.2	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	118
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	119

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de racionalizar recursos naturais, a tendência em diminuir o envolvimento humano na construção civil e a demanda por obras velozes estão entre os propulsores de um desenvolvimento sustentável aliado à industrialização da construção.

Em atenção à demanda de soluções construtivas rápidas, desenvolveram-se argamassas autonivelantes para contrapiso. O material pode ser bombeado, assim como o concreto, e por se autonivelar pela ação do peso próprio e da gravidade diminui o número de funcionários envolvidos e acelera o processo executivo de tal etapa em canteiro de obras, se comparado com o sistema tradicional.

Segundo Freitas *et al.* (2010), argamassas autonivelantes possuem a propriedade de adensamento por ação da gravidade de forma coesa e homogênea, ou seja, não necessitam de intervenção mecânica ou manual para se acomodar. Isso acontece em virtude de o material possuir uma reologia que o torna bastante fluido, sem que aconteça exsudação e segregação. Para atender estas características, vários estudos têm sido desenvolvidos com adições minerais diversificadas, mas que não sejam promissoras de maiores prejuízos ao meio ambiente, ou seja, materiais que possam trazer benefícios as argamassas, de forma sustentável.

Desta maneira, o uso destes resíduos na aplicação de argamassas autonivelantes pode-se apresentar como um material alternativo na construção civil, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e reduzindo os impactos ambientais.

De acordo com a Abirochas (2018), o setor de exploração de rochas ornamentais no Brasil movimentou cerca de US\$ 5,0 bilhões em 2017, nos mercados interno e externo, inclusive relativos a serviços e à comercialização de máquinas, equipamentos e insumos. Cerca de 10.000 empresas integram a cadeia produtiva, dentre as quais pelo menos 400 exportadoras regulares, respondem por 120 mil empregos diretos e 360 mil indiretos. As marmorarias constituem mais de 60% das empresas desse setor, que é, majoritariamente, formado por micro e pequenas empresas, as quais, são responsáveis pela maior parte dos empregos agregados ao setor de rochas no Brasil.

No ano de 2018, o Brasil exportou rochas ornamentais para 120 países. Os três principais destinos foram EUA, China e Itália, nesta ordem. Apenas para sete países as exportações superaram US\$ 10 milhões (EUA, China, Itália, México, Canadá, Reino Unido e Espanha). As rochas ornamentais representam o 5º produto de base mineral mais exportado pelo Brasil, atrás apenas do minério de ferro, minério de cobre, ferro-ligas e ouro (ABIROCHAS, 2019).

As atividades relacionadas à extração e beneficiamento de rochas ornamentais promovem um grande crescimento econômico no país, porém acarretam graves consequências ambientais em função dos resíduos sólidos gerados, sendo sua reciclagem e uso na construção civil uma boa alternativa na mitigação de impactos ambientais e na otimização de soluções visando o desenvolvimento sustentável do setor. A eliminação ou o reaproveitamento dos resíduos industriais gerados por empresas de beneficiamento é um dos grandes desafios para mitigar os impactos ambientais, o que leva pesquisadores ligados ao setor a estudarem o uso deste resíduo em aplicações, principalmente na indústria da construção civil (REIS e ALVAREZ, 2007).

Neste estudo, foram analisadas misturas de argamassas autonivelantes com adição de Resíduo obtido pelo Corte de rochas de Mármore e Granito (RCMG), material inerte e extremamente fino. As argamassas autonivelantes de contrapiso foram elaboradas sob os parâmetros descritos na norma C 1708 (ASTM, 2016), visto que não existe norma brasileira que regule este material. O presente trabalho visa promover um destino apropriado e sustentável para o RCMG, aplicando o material em misturas determinadas de argamassa autonivelante de contrapiso.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A reutilização e reciclagem de insumos através do desenvolvimento e propagação de tecnologias aliadas a novos materiais, inovadoras e eficientes formas de gestão e métodos construtivos são motivações importantes para o desenvolvimento de pesquisas no setor da construção civil.

Tendo em vista a má gestão de resíduos que são recursos em potencial e a degradação do meio ambiente, seja na exploração de insumos quanto no depósito de tais resíduos no meio ambiente, o estudo de materiais que reduzam desperdício e a criação de normas técnicas que aprimorem o processo construtivo é importante no ponto de vista tecnológico e ambiental.

O desenvolvimento da norma brasileira NBR 15.575 (ABNT, 2013), a qual exige um padrão mínimo de qualidade no ambiente construído, foi um ganho, no ponto de vista tecnológico, para o aperfeiçoamento das construções no Brasil. Com a popularização da norma, o desempenho acústico em obras residenciais tem sido amplamente discutido e estudado pelos engenheiros e construtores. Como forma de reduzir a transmissão de ruído entre lajes subjacentes, estão sendo empregadas mantas de isolamento acústico sobre as lajes e

subsequentemente a argamassa de contrapiso sobre a manta, como camada de proteção mecânica. Em observação à oferta de mantas acústicas no mercado, se encontram diversos materiais como: manta filmada, emborrachada, lã de rocha, entre outros. No entanto quando se trata de argamassa de contrapiso não existe norma brasileira (ABNT) de referência, ou seja, não se sabe qual material utilizar, quais parâmetros analisar e qual sistema executivo é mais indicado para que os engenheiros, construtores e proprietários não sejam surpreendidos com futuras patologias. Em atenção a demanda por argamassas autonivelantes, a associação norte-americana de normas implementou em 2015 a norma C 1708 (ASTM, 2016) que trata exclusivamente de tais argamassas com função de contrapiso.

Segundo Pinho (2015), no ano de 2013, algumas construtoras passaram a adotar brandamente o contrapiso autonivelante como método construtivo de revestimento na região do Distrito Federal. As empresas de construção civil alocadas na região entre os anos de 2009 e 2013 sentiram dificuldade na contratação de mão de obra qualificada e o custo da mão de obra foi crescente nos anos subsequentes. O contrapiso autonivelante atuou com maior intensidade nesse período com a promessa de reduzir custo e aumentar a produtividade. Algumas empresas passaram a adotá-lo, mas sem tomar os devidos cuidados, não obtiveram os resultados esperados.

A evolução da tecnologia e o avanço no desenvolvimento de novos materiais e técnicas para os sistemas de revestimentos argamassados empregados na construção civil nem sempre são acompanhados pela cadeia produtiva. Muitas vezes, as falhas e a falta de detalhamento na elaboração de projetos, a inexperiência de projetistas, a falta de qualificação da mão-de-obra e a redução forçada no prazo de execução das obras, dentre outros fatores, acabam acarretando uma série de problemas vinculados à durabilidade e ao desempenho destes sistemas (TEMP, 2014).

Tendo em vista o crescente uso da argamassa de contrapiso no setor da construção civil no Brasil, a carência de norma técnica brasileira que auxilie os engenheiros na elaboração, ensaios e aplicação deste material e em contrapartida a problemática ambiental da geração de resíduos sólidos é essencial que se ampliem os estudos acerca do tema proposto.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em elaborar dosagem de argamassas autonivelantes de contrapiso com adição de resíduos provenientes do corte de mármore e granitos, analisando as propriedades físicas e mecânicas sob os parâmetros da norma americana C 1708 (ASTM, 2016).

### 1.2.2 Objetivos Específicos

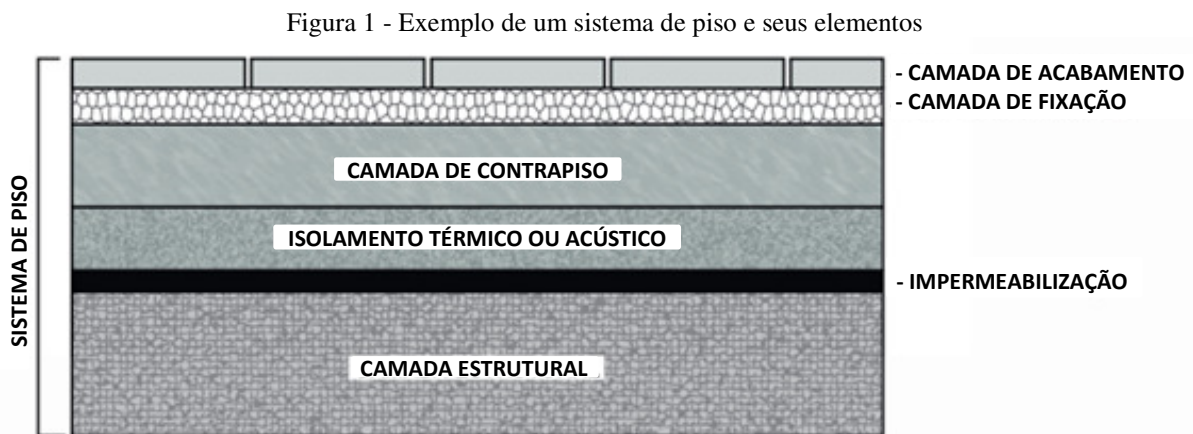
- Otimização das dosagens de argamassas autonivelantes com adição de resíduos do corte de mármore e granitos, proporcionando ao material uma reologia que o torna fluído o bastante para se autonivelar sem que aconteça exsudação e segregação;
- Verificar como a utilização dos resíduos afetam as propriedades das argamassas nos estados fresco e endurecido conforme a norma ASTM C 1708 (2016);
- Avaliar a resistência de aderência à tração de mistura com RCMG e comparar com a dosagem comercial;
- Avaliar a retração das argamassas elaboradas e verificar a eficácia na incorporação de fibras de polipropileno em dosagem com RCMG.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta alguns conceitos relacionados a argamassas autonivelantes para contrapiso, estudos desenvolvidos anteriormente, ensaios, patologias no sistema executivo. Assim como conceitos relacionados à aditivos e adições minerais em argamassas e propriedades nos estados fresco e endurecido.

### 2.1 CAMADA DE CONTRAPISO

A camada de contrapiso é um estrato com as funções de regularizar o substrato, proporcionando uma superfície uniforme de apoio, coesa, aderida ou não, e adequada à camada de acabamento, podendo servir como camada de embutimento, caimento ou declividade. A Figura 1 exemplifica o sistema de piso proposto pela norma NBR 15575-3 (ABNT, 2013).



Fonte: NBR 15575-3 (ABNT, 2013)

Segundo Souza (2007), o contrapiso aplicado sobre lajes de concreto pode cumprir diversas funções, como o acerto geométrico da base (nivelamento, acabamento superficial ou criação de desníveis entre ambientes), embutimento de instalações, até melhoria do comportamento acústico da vedação horizontal.

Sua execução, no sistema convencional, envolve a limpeza e preparação da base (apicoamento de argamassa e concretos indevidos, varrição e o umedecimento da laje).

Posteriormente, o taliscamento da base (assentamento de pedaços de cerâmica ou madeira no nível final especificado no projeto). O preenchimento do contrapiso é iniciado com o polvilhamento de cimento, lançamento da argamassa e sua compressão, sarrafeamento e acabamento superficial (SOUZA, 2007).

### **2.1.1 Argamassa Autonivelante para Contrapiso (AAC)**

Argamassas autonivelantes, como as argamassas tradicionais, são basicamente formulações de cimento Portland de alta resistência inicial (de 25 a 45% da massa total) e areia fina quartzosa (de 40 a 60%). Os 10 a 15% restantes da argamassa são formados por uma série de aditivos químicos e adições minerais destinados a modificar as características reológicas no estado fresco e as propriedades físico-mecânicas no estado endurecido, de modo a atender aos requisitos de instalação, carga, solicitação e durabilidade. Fundamentalmente, os aditivos se tratam de superfluidificantes, éteres celulósicos para melhorar a retenção de água, antiespumantes para alterar a tensão superficial da água de amassamento e reduzir o nível de ar arrastado durante a mistura e bombeamento, polímeros elastoméricos redispersáveis com o objetivo de tornar o material mais impermeável, dúctil e mais resistente à tração e à abrasão, substâncias minerais que compensem a retração por secagem, a exsudação e a tendência ao fissuramento. A água de amassamento constitui entre 20 e 30% da argamassa seca total de acordo com o tipo de destinação (acabamento ou regularização) de um determinado material (NAKAKURA; BUCHER, 1997).

Sob o ponto de vista reológico define-se argamassa autonivelante como uma suspensão de partículas, ou seja, mistura do tipo sólido/líquido na qual as partículas se distribuem de forma uniforme através do meio líquido (PINHO, 2015).

A argamassa autonivelante para contrapiso, também conhecida como revestimento contínuo, conforme Rubin (2015), é um material já conhecido em muitos países da Europa, Estados Unidos e América Latina, com forte tendência de implementação no Brasil. A principal característica é sua elevada fluidez, que permite que o material seja adensado no pavimento aplicado sob ação da gravidade da própria capacidade de fluxo, oferecendo alta planicidade, aumentando a produtividade e o controle de qualidade do sistema.

Segundo Carvalho (2015), as argamassas autonivelantes e os concretos auto-adensáveis são compostos cimentícios que apresentam a propriedade de auto consolidação, sem

intervenção manual (vibração), permitindo com isso a minimização de problemas com a execução, como por exemplo as falhas de concretagem e segregação dos agregados. Estas argamassas são utilizadas principalmente em revestimentos de pisos, uma vez que possuem a propriedade de adensamento de forma coesa e homogênea, ou seja, devem ser capazes de escoar facilmente apenas sob seu peso próprio, não necessitando de intervenção mecânica ou manual para se autonivelar. Esta característica é alcançada com a otimização das dosagens, proporcionando ao material uma reologia que o torna fluído o bastante para se autonivelar sem que aconteça exsudação, segregação ou retração. As composições das argamassas autonivelantes envolvem principalmente aditivos químicos, adições minerais, agregados (com granulometria fina) e aglomerantes.

Altoé *et al.* (2015) observaram algumas vantagens no contrapiso autonivelante em relação ao sistema convencional:

- Não há necessidade em utilizar o transporte vertical da obra em função da tecnologia construtiva adotada, pois o processo é feito através de bombeamento. No caso do contrapiso convencional a obra teria que dispor de transporte vertical e horizontal até o local;
- Possibilidade em minimizar estoque de agregados no canteiro de obras;
- Ganhos de produtividade de mão de obra, pois a produção é mantida com uma equipe reduzida;
- Ganho no planejamento físico da obra, reduzindo a parcela de tempo para a etapa deste serviço e podendo acelerar as atividades sucessoras;
- Solução econômica e fácil de usar;
- Possui baixa retração; é durável; é compatível com a maioria das argamassas colantes do mercado.

Altoé *et al.* (2015) também mencionam alguns pontos que devem ser cuidadosamente observados antes da aplicação:

- O processo requer a realização criteriosa da limpeza para aderência do substrato na base;
- Necessidade de juntas de dilatação de isopor no perímetro das alvenarias (rodapés), para evitar rachaduras posteriores;
- A quantidade de água indicada para a mistura da argamassa não pode ser excedida;

- A dosagem do aditivo deve ser seguida rigorosamente, caso contrário o contrapiso poderá levar um tempo para endurecimento maior de 24 horas, tornando o local impedido;
- O contrapiso deve ter uma adequada fluidez para não ocorrer entupimento dos mangotes durante o bombeamento, uma vez que a bomba opera em baixa rotação;
- Poucas empresas dominam conhecimento de aplicação do contrapiso autonivelante.

Segundo Nakakura e Bucher (2007), os pisos autonivelantes são materiais de construção extremamente versáteis (podem ser instalados em diversos ambientes de solicitação) e são rápidos de serem instalados (rendimentos de até 500m<sup>2</sup> por homem-dia) e de rápida liberação para o serviço (dentro de 24 horas podem ficar expostos às cargas definitivas). O seu preparo mecanizado e o transporte por bombeamento fazem com que a qualidade do material instalado seja altamente homogênea.

Conforme Martins (2009), a proposta da argamassa autonivelante é permitir uma moldagem adequada, isenta de defeitos oriundos da falha de aplicação ou de técnica inadequada de moldagem, sem uma grande exigência na qualificação do operário. Com relação aos materiais, a argamassa autonivelante não requer nenhum tipo de material especial, porém, os materiais devem possuir características específicas e teores na mistura que proporcionem a fluidez adequada sem haver segregação da mesma. Já os equipamentos e procedimentos de dosagens ainda não foram normatizados no Brasil, por esse motivo exigem estudos mais detalhados.

Segundo Canbaz, Topçu e Atesin (2016), o uso de contrapisos autonivelantes pode ser considerado como uma contribuição valiosa para a indústria da construção, devido à habilidade de auto nivelamento, capacidade de cobrir toda a seção transversal e superfícies complexas, menor número de operários envolvidos e uma aplicação mais rápida. Mas, por outro lado, a produção de Argamassa Autonivelante de Contrapiso (AAC) requer uma maior e mais rigorosa inspeção.

De acordo com Cichinelli (2012), a aplicação mecanizada do contrapiso autonivelante, por meio de misturadora e bomba, proporciona alta produtividade com redução expressiva do tempo de execução do piso e, por sua vez, do cronograma de obra. Somado ao tempo de preparo da base - em geral, serviço executado em 2,5 dias -, a produtividade média por ciclo chega a

800 m<sup>2</sup>/ dia. Vale ressaltar que as condições da base e do ambiente e a espessura final requerida no projeto influenciam diretamente na produtividade. Quanto menor a espessura, maior será a produtividade: um piso com espessura de 1,0 cm pode apresentar uma produtividade potencial de 2.000 m<sup>2</sup>/dia (sem contar o tempo de preparo da base). Outros fatores decisivos nessa análise serão a liberação de frentes de trabalho (o que exigirá planejamento da obra para que a produção seja potencializada, evitando paradas no processo), e a disposição das juntas na base, dos elementos construtivos (tais como pilares) e dos equipamentos pesados existentes no local que receberá a aplicação. A Figura 2 demonstra a aplicação do contrapiso autonivelante.

Figura 2 - Aplicação da argamassa autonivelante



Fonte: Téhcne (2012)

A norma brasileira NBR 15823 (ABNT, 2017) , descreve ensaios para determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual de concretos auto-adensáveis, características que também são mensuradas em uma argamassa autonivelante, no entanto não existe norma brasileira que especifique ensaios próprios para argamassas, assim como a norma norte-americana C 1708 (ASTM, 2016).

### 2.1.2 Estudos Desenvolvidos em Argamassas Autonivelantes

Carvalho (2015) em seus estudos com dosagens de argamassas autonivelantes, substituiu parte do cimento Portland pelos finos de Fíler Calcário (FC), Resíduos de Construção e Demolição (RCD) e Cinza Pesada (CZP) em teores de 10, 15 e 20% em massa. A dosagem foi realizada em função do diâmetro de espalhamento das argamassas na mesa de consistência utilizando molde tronco-cônico com as seguintes dimensões: base maior de diâmetro 100 mm, base menor (topo) de diâmetro 70 mm e altura de 60 mm. Valores ideais de espalhamento foram considerados entre 25 e 26 cm sem apresentar segregação, conforme os critérios de aceitação sugeridos pela EFNARC (2005). Desta forma, foi analisada a consistência necessária em argamassas autonivelantes no estado fresco.

Quanto ao diâmetro dos finos utilizados, foi possível verificar que todos os grãos de FC e RCD são inferiores a 0,075 mm, enquanto que aproximadamente 30% dos grãos de CZP são maiores. A finura do material influencia na área específica e em propriedades das argamassas autonivelantes como, por exemplo, no espalhamento. Para os traços elaborados, o teor máximo do aditivo Superplastificante (SP) utilizado foi 0,40%, acima desse valor, o espalhamento das argamassas não variou significativamente. Além disso, todas as misturas com 0,45% e 0,50% apresentaram sinais de exsudação e/ou segregação (CARVALHO, 2015).

Os resultados obtidos por Carvalho (2015), comprovaram a maior eficiência do aditivo SP com base química policarboxilato para produção de pastas com cimento CP-V ARI. Nessa etapa, também foi possível constatar que o teor de aditivo SP influencia no tempo de retenção da fluidez e, conseqüentemente, nos tempos de pega. No estudo de dosagem de argamassas autonivelantes, foi possível verificar a viabilidade de uso dos finos reciclados de resíduos de construção e demolição e cinza pesada para teores de substituição de 10 e 15% em massa. As argamassas com finos de RCD demonstraram valores de espalhamento próximos aos de uma mistura de referência contendo FC sem demais adições, além de apresentarem uma consistência adequada e um bom aspecto visual. Enquanto as argamassas com finos de CZP demonstraram maior eficácia no combate à exsudação, apesar de reduzir o espalhamento em relação a argamassa de referência.

Nakakura e Bucher (1997) realizaram ensaios na Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) para avaliar 3 produtos comerciais, a Tabela 1 resume as principais características das amostras de materiais para contrapisos autonivelantes para acabamento de classe industrial (material 1), classe industrial leve (material 2) e de nivelamento (material 3).

Tabela 1 – Resultados dos ensaios realizados com três classes de argamassas

Ensaio	Classe de material		
	1	2	3
Consistência			
anel sueco	165 mm	142 mm	130mm
cone Kantro	164mm	142mm	129mm
Tempo de pega (Vicat com 1Kg de sobrecarga)			
Início (h : min)	2 : 45	2 : 25	3 : 16
Fim (h : min)	3 : 20	3 : 28	4 : 51
Resistência a tração na flexão (MPa) nas idades:			
6 horas	1,4	0,9	0,7
1 dia	2,1	1,4	1,5
3 dias	2,0	1,4	1,3
7 dias	2,1	0,8	1,8
28 dias	2,4	1,1	2,3
Resistência à compressão (MPa) nas idades:			
6 horas	4,8	2,5	1,5
1 dia	7,9	4,7	4,7
3 dias	10,3	5,2	6,0
7 dias	9,3	3,6	8,5
28 dias	12,0	5,2	10,7

Fonte: Adaptado de Nakakura e Bucher (1997)

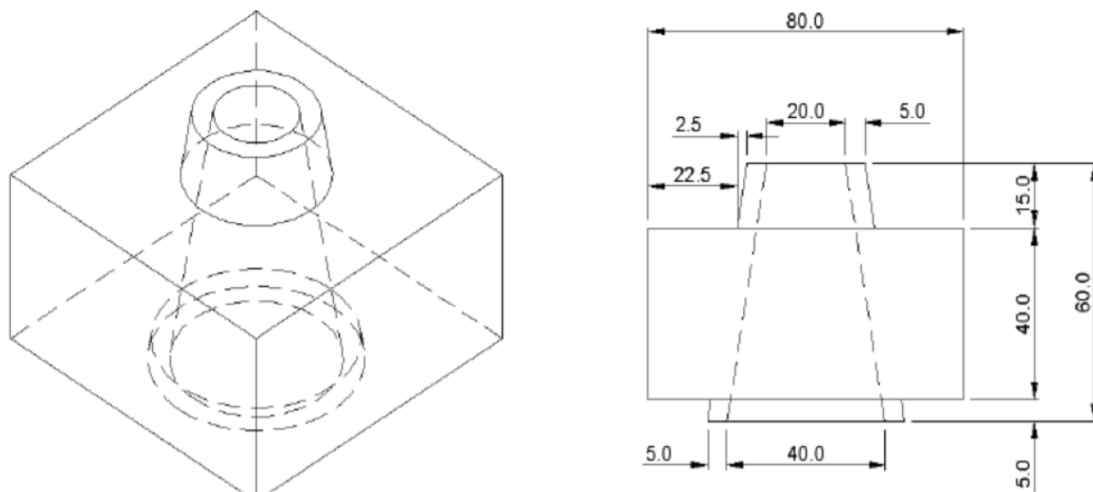
Alguns dados pertinentes sobre a Tabela 1:

- O tempo de pega foi determinado de acordo com o procedimento da norma NBR 11581 (ABNT, 1991) – a qual era válida na ocasião dos ensaios, no entanto foi utilizada uma haste móvel pesando 1000g no lugar dos 300g especificados, e com o material apresentando a consistência determinada mediante o espalhamento pelo anel sueco e cone de Kantro;
- O ensaio de consistência pelo anel sueco, consiste em medir o espalhamento da nata de cimento contida em um anel de 50 mm de diâmetro por 22 mm de altura, aproximadamente 43,2 cm<sup>3</sup>;

Segundo Monte (2003), o ensaio de mini abatimento desenvolvido por Kantro (1980) é adotado em pesquisas nacionais e internacionais para a determinação da consistência de pastas de cimento com aditivos superplastificantes. Este método compreende o preenchimento de um molde tronco-cônico com a mistura da pasta de cimento Portland e aditivo superplastificante, posicionada sobre uma placa de vidro centralizada sobre papel milimetrado graduado. Após a

elevação do mini cone e consequente espalhamento da mistura, calcula-se a média de dois diâmetros medidos, obtendo-se, então, o espalhamento equivalente ao sistema avaliado. A Figura 3 apresenta as dimensões do cone de Kantro.

Figura 3- Cone de Kantro



Fonte: Monte (2003)

Canbaz, Topçu e Atesin (2016) concluíram que o uso de areias naturais de rio com granulometria de 0 a 1 mm, se comparados com areias naturais e artificiais de granulometria de 0 a 3 mm, trouxeram melhores resultados com relação ao adensamento, resistência à compressão, propagação de pulso, absorção de água e capilaridade. Para o superplastificante comercial utilizado, produzido pela indústria química Gunerca (produtos químicos do grupo ERCA TIC. Inc.), os melhores resultados foram obtidos com 1% de SP em relação à massa de cimento.

Molin Filho (2012) pesquisou traços de concreto auto-adensável com cinza de bagaço da cana-de-açúcar. Para elaboração da argamassa padrão (traço sem adição de resíduo e brita), o autor utilizou cimento CP II E-32, areia com módulo de finura de 1,7 e aditivo superplastificante baseado em uma cadeia de éter policarboxílico modificado. Os traços que apresentaram melhores resultados, quando analisados os parâmetros de espalhamento e exsudação, estão apresentados na Tabela 2. Para avaliação do espalhamento destas argamassas foi utilizado o molde para abatimento tronco-cônico “*slump-test*”, com as seguintes dimensões:

base maior de diâmetro 100mm, base menor (topo) de diâmetro 70mm e altura de 60mm, assim como Carvalho (2015).

Tabela 2 - Traço de argamassas utilizado como base para Concreto Auto-Adensável

Composição da argamassa									Ensaio	
Cimento (C) (g)	Fíler (F) (g)	Areia (AR) (g)	Aditivo (SP) (g)	Água (W) (g)	W/C	F/C	SP/C (%)	AR/C	Espalhamento (mm)	Massa específica (Kg/m <sup>3</sup> )
700	280	1400	2,8	348	0,5	0,4	0,4	2	313	2271
700	350	1400	3,5	347,5	0,5	0,5	0,5	2	345	2191

Fonte: Adaptado de Molin Filho (2012)

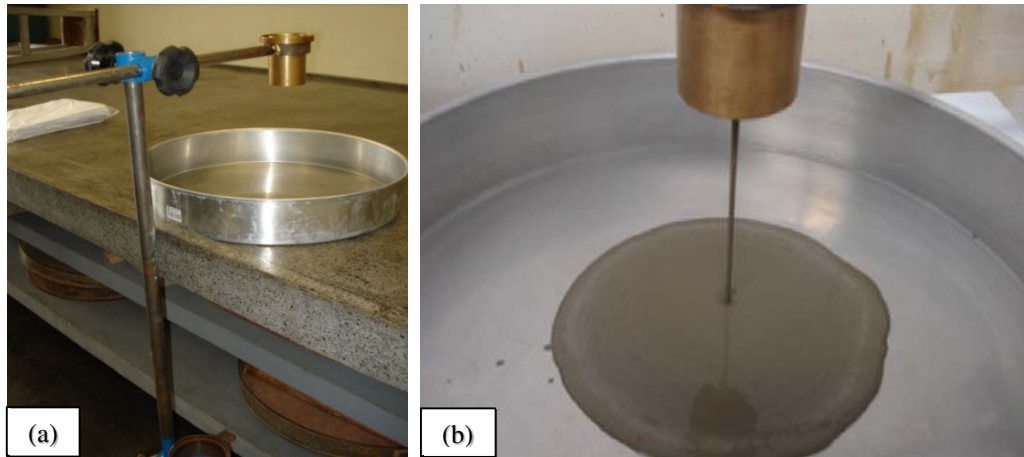
Freitas (2009) utilizou diversos teores de aditivo redutor de retração em traços de argamassas autonivelantes, além da investigação da redução de problemas relacionados à retração, também avaliou as propriedades nos estados fresco e endurecido e influência nos tempos de pega. O traço utilizado na composição das argamassas foi, em massa, na proporção de 1:2 (cimento:areia) em todas as misturas. Foi determinado que a argamassa poderia ser considerada auto-adensável com diâmetro de espalhamento a partir de 200 mm e tempo de escoamento inferior a 9 segundos, utilizando molde tronco-cônico de base maior com  $125 \pm 0,5$  mm, base menor de  $80 \pm 0,5$  mm e altura de  $65 \pm 0,5$  mm, padronizado pela norma NBR 7215 (ABNT, 2019).

Nos traços desenvolvidos, o teor de 2% de Aditivo Redutor de Retração (ARR) em relação à massa de cimento apresentou o melhor desempenho quando avaliada a redução de retração, porém ao se utilizar o teor máximo recomendado pelo fabricante, ocorreu uma perda de resistência de 12,4 a 18,6%, a maior perda quando comparada aos outros teores de aditivo empregados. O teor de 1% de ARR apresentou ótimo desempenho na redução de retração, em torno de 29,7%, e a queda de resistência chegou a apenas 10,7%. Os ensaios realizados mostraram a evidente eficácia do ARR para minimização da retração, em todos os teores utilizados. No entanto, devem ser avaliados os efeitos benéficos da redução da retração em virtude dos efeitos negativos nas demais propriedades realizadas no estado endurecido (FREITAS, 2009).

Martins (2009) utiliza como equipamento para verificação da fluidez e adensamento das argamassas autonivelantes, o Cilindro Espanhol, o qual, foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores e profissionais da área de argamassas na cidade de Valência na Espanha. O equipamento é constituído por um cilindro com diâmetro da base de 60 mm e altura de 90 mm

(volume de 254,47 cm<sup>3</sup>), que contém um orifício de diâmetro de 5,0 mm em sua superfície inferior, por onde irá escorrer a pasta. O Cilindro espanhol é fixado a uma haste de ferro, para que o mesmo seja posicionado a uma altura de 150 mm da superfície, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Cilindro espanhol (a); A pasta escoando do copo do cilindro espanhol (b)

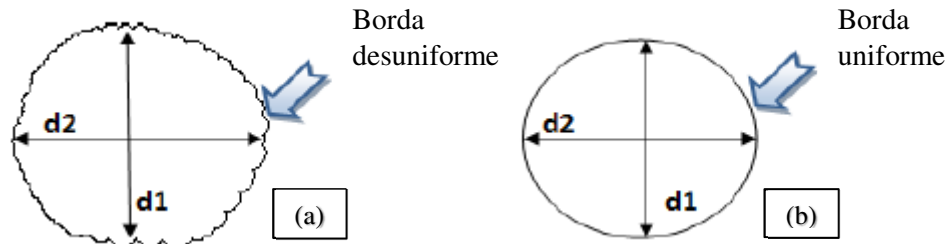


Fonte: Martins (2009)

O procedimento realizado para esse ensaio, consiste no preenchimento do cilindro com a amostra de pasta cimentícia e com auxílio de um cronômetro utilizado para medir o tempo de escoamento do material. O diâmetro medido em dois sentidos do espalhamento, o tempo para esse escoamento e a análise visual das bordas da pasta, após escoamento, são os parâmetros a serem analisados (MARTINS, 2009).

Segundo Martins (2009), os diâmetros médios da pasta após ensaio com cilindro espanhol, executados em Valência na Espanha para argamassas autonivelantes, estão compreendidos entre 25 e 35 cm. Nas avaliações visuais da pasta após o seu escoamento, verifica-se o aspecto da sua borda, que pode ser uniforme ou desuniforme, e a análise da segregação da mistura (separação nítida dos seus constituintes) podendo ser avaliada com ou sem segregação, conforme as Figuras 5 e 6.

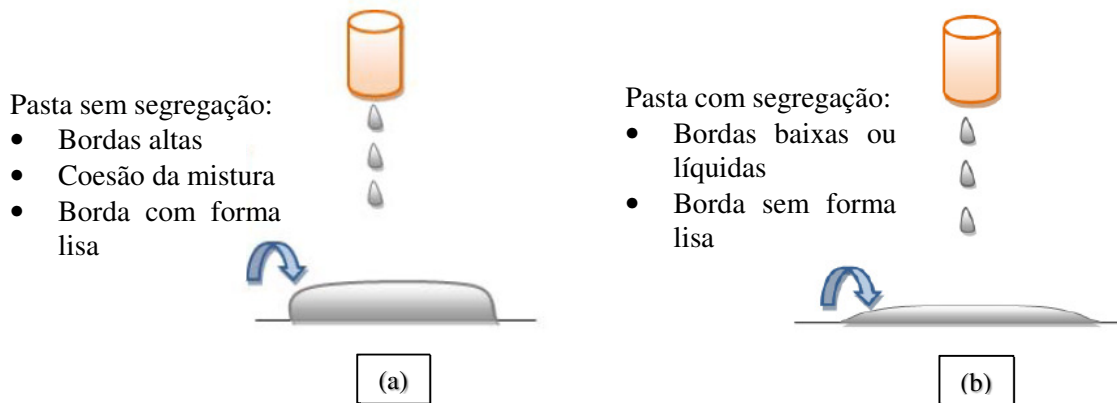
Figura 5 - Borda desuniforme (a); Borda uniforme (b)



Fonte: Martins (2009)

Análise visual quanto a segregação da pasta escoada: com ou sem segregação. Essa análise é feita observando-se a uniformidade e a espessura da pasta escoada. As pastas com bordas desuniformes tendem a segregação. Quanto a espessura da pasta, as que apresentam pequenas espessuras (altura) de borda estão sujeitas a segregação, enquanto que bordas com espessuras mais altas dão indícios de maior coesão da mistura, consequentemente menor probabilidade de segregação (MARTINS, 2009).

Figura 6 - Pasta sem segregação (a); Pasta com segregação (b)



Fonte: Martins (2009)

Rubin (2015) em seus estudos, analisou propriedades físicas de três dosagens de argamassas autonivelantes comercializadas na cidade de Porto Alegre – RS. Os traços foram denominados de: F1, F2 e F3, os resultados encontrados para os ensaios de tempo de pega, resistência à compressão simples, resistência à tração por compressão diametral, densidade de massa e resistência de aderência à tração encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados de ensaios em argamassas autonivelantes

Propriedades		Argamassa		
		F1	F2	F2
		Estado Fresco		
Relação água/materiais secos		0,210	0,210	0,225
Tempo de pega	Início	6h 30min	5h 6min	43min
	Fim	11h 29min	5h 57min	1h 12min
		Estado Endurecido		
Resistência à compressão simples (MPa) aos 28 dias (cura controlada)		17,72	14,36	10,04
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)		2,1	1,51	1,25
Densidade de massa (Kg/m <sup>3</sup> )		1707,81	1788,27	1887
Resistência de aderência à tração (MPa) - (cura controlada)		1,34	2,81	1,39

Fonte: Adaptado de Rubin (2015)

A autora concluiu que, com base nos ensaios realizados na pesquisa, de um modo geral, as argamassas autonivelantes ensaiadas forneceram características mecânicas aceitáveis para a aplicação em contrapisos no estado endurecido. As argamassas se mostraram, tão eficientes (no estado endurecido) quanto aos convencionais métodos de execução de contrapiso, com argamassa dosada em obra. O método de aplicação versus economia oferecida no canteiro de obra, pela adoção das argamassas autonivelantes, faz com que as mesmas se apresentem muito atrativas no mercado da construção civil brasileira (RUBIN, 2015).

Dosagens realizadas por alguns autores foram compiladas e estão apresentadas na Tabela 4. Em comum, a maioria dos autores utilizou algum tipo de resíduo ou fíler e superplastificante policarboxilato nas dosagens formuladas.

Tabela 4 - Dosagens de argamassa autonivelante segundo diversos autores

Autor	Molin Filho (2012)	Molin Filho (2012)	Martins (2009)	Souza, Ferreira e Azevedo (2012)	Souza, Ferreira e Azevedo (2012)	Souza, Ferreira e Azevedo (2012)	Souza (2013)	Yang, Zhang e Yan (2016)	Cambaz, Topçu e Atesin (2016)	Carvalho (2015)
Traço C:A:R	1:2:0,5	1:2:0,4	1:0:0,05	1:1,875:0,25	1:1,55:0,05	1:1,25:0,05	1:4,86:0,89	1:1,75:1,25	01:02	01:02
Proporção utilizada	Massa	Massa	Massa (sem areia)	Massa	Massa	Massa	Massa	Volume	Volume	Volume
W/Ms			0,67	0,232	0,220	0,236	0,159	0,042	0,167	0,167
SP	0,5% Policarboxilato	0,4% Policarboxilato	0,5% Policarboxilato	0,9% Policarboxilato	0,9% Policarboxilato	0,4% Policarboxilato	2,29%	-	1%	Variável entre 0,25 e 0,4% Policarboxilato
Resíduo	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar	Sílica ativa SILMIX	Sílica ativa Tecnosil	Sílica ativa Tecnosil	Sílica ativa Tecnosil	Fíler calcário	Fíler calcário	-	Adições minerais variáveis entre 10 e 15% em substituição ao CP
MF areia	1,7	1,7	-	1,01	1,01	1,01	2,2	-	-	1,39
Cimento			CP V - ARI	CP V - ARI	CP V - ARI	CP V - ARI	CP II-F-32.	-	-	CP V - ARI
W/C	0,5	0,5	0,7	0,73	0,57	0,54	1,07	0,21	0,5	0,5
AMV	-	-	0,80%	0,94%	0,94%	0,77%	-	-	-	-

C – Cimento; A – Areia; R – Resíduo; W – Água; Ms – Materiais secos; SP – Superplastificante; MF – Módulo de Finura; AMV – Aditivo Modificador de Viscosidade

Fonte: Adaptado pela autora (2018)

A norma americana C1708 (ASTM, 2016) descreve os métodos de ensaios adequados para avaliar o desempenho de argamassas autonivelantes, nos estados fresco e endurecido. Para os ensaios no estado fresco, enumera: fluxo inicial (consistência), fluxo de retenção (perda de trabalhabilidade), tempo de pega e tempo de cicatrização (capacidade de a argamassa voltar ao seu estado original de nivelamento, sem apresentar deformações, após sofrer alguma vibração). No estado endurecido, ressalta: resistência à compressão e a tração na flexão e estabilidade dimensional.

### **2.1.3 Manifestações Patológicas em Sistemas de Contrapiso**

De acordo com Barros (2012), os tipos de patologias mais comuns nos sistemas de contrapiso são as fendas e as fissuras superficiais. As fendas podem ter diferentes formatos e são localização no pavimento. As patologias têm origem em locais sujeitos a grandes esforços tais como: esquinas ou locais onde existem diferenciais de temperatura, como por exemplo: portas que unem dois espaços com temperaturas diferentes. Existem duas razões principais para a formação de fendas em um pavimento:

- Movimentações da base, como por exemplo no caso em que a laje apresenta deslocamentos devido a um reforço inadequado da sua estrutura;
- Retração do pavimento durante um rápido processo de cura, devido a calor excessivo, luz solar direta ou utilização demasiada de água durante o processo de mistura. Neste caso, o revestimento retrai à medida que seca e aparecem as fendas.

Um tipo de patologia peculiar é o aparecimento de uma fissuração aleatória em forma de rede ou então o aparecimento de fendas a delimitar os sistemas de reforço existente no pavimento (BARROS, 2012).

Segundo Rodrigues (2013), a execução de camadas de contrapiso com pequenas espessuras tem ocasionado patologias no revestimento cerâmico. Causa comum de patologia, ocasionada pela falta de qualidade na execução do contrapiso, é o deslocamento da argamassa, conforme Figura 7. Tal manifestação tem ocorrido, principalmente, em revestimentos de piso com pequena espessura, onde a transmissão de solicitações é maior e pelo fato de a camada de fixação (argamassa colante ou cola) possuir uma maior capacidade aderente, o que vem a exigir

mais da camada de contrapiso na transmissão dos esforços.

A norma NBR 15.575-3 (ABNT, 2013) indica que os sistemas de piso não devem apresentar patologias como bolhas, fissuras, empolamentos, eflorescências, desagregação superficial, dentre outros, quando submetida à situação de umidade, mesmo que excessiva. Já a resistência ao ataque químico define que o sistema de pisos, principalmente a camada de acabamento, deve resistir aos produtos de limpeza presentes na limpeza doméstica.

Figura 7 - Desplacamento da camada de contrapiso



Fonte: Rodrigues (2013)

Souza, Ferreira e Azevedo (2012) realizaram a aplicação prática de uma de suas argamassas formuladas em uma edificação. Para efeito de controle dos efeitos possíveis da retração no estado plástico, os pesquisadores realizaram a cura úmida do material aplicado. Nas primeiras idades já foram identificadas fissuras comprovando a intensidade do processo de retração do material, esse fenômeno foi primordialmente justificado pelo alto consumo de cimento da formulação. Grandes quantidades de grãos de cimento promovem a aceleração da formação dos hidratos, que possuem tamanho menor que os grãos, ocasionando a retração total do material e consequentemente gerando fissuras devido à incapacidade de a argamassa resistir ao movimento interno da estrutura. Além disso, as argamassas autonivelantes, assim como lajes de concreto, possuem uma relação alta entre a espessura e a área aplicada do material, o que potencializa os efeitos de retração pela susceptibilidade de perda rápida de água para o meio

externo e para o substrato. Com a perda de água, os capilares internos da argamassa também retraem, resultando em fissuras.

Segundo Amorin (2015), o embutimento de instalações no contrapiso é utilizado quando se percebe sua viabilidade econômica ao eliminar a execução das instalações durante a concretagem da laje (podendo ser realizada numa etapa posterior). No entanto, para que as tubulações sejam embutidas no contrapiso, deve-se prever um recobrimento mínimo de 2 cm da tubulação para que este não provoque patologias na camada de acabamento, gerando um aumento de custo, pois todo o contrapiso deverá ser mais espesso para garantir o recobrimento mínimo. A Figura 8, demonstra o aparecimento de fissuras na camada de contrapiso pela falta de cobertura sobre as instalações embutidas.

Figura 8 - Tubulação elétrica exposta em camada de contrapiso



Fonte: Acervo pessoal

## 2.2 SUSTENTABILIDADE E RECICLAGEM DE RESÍDUOS

Segundo Reis e Alvarez (2007), o modelo proposto de desenvolvimento sustentável implica numa transformação do atual sistema econômico, considerando que, a maioria dos sistemas de produção material dominantes no mundo não são sustentáveis, principalmente nos aspectos legais, econômicos, sociais e ambientais, em relação ao modo de vida da sociedade contemporânea, centrado na estrutura de produção e consumo. A indústria de exploração de rochas ornamentais está inserida nesta problemática e a sustentabilidade do setor envolve, entre

outras alternativas, a busca pela reciclagem do resíduo gerado. Assim, a reciclagem é uma oportunidade de transformação de uma fonte importante de despesa em faturamento ou, pelo menos, de redução das despesas de deposição, além da mitigação dos riscos ambientais. O reaproveitamento do resíduo diminui o consumo de recursos naturais na fabricação de produtos e elimina a necessidade de armazenar grandes quantidades de resíduos em aterros industriais. No processo de reciclagem deve-se levar em consideração a caracterização física, química e ambiental do resíduo para que os novos produtos tenham bom desempenho e uma maior aceitação dos consumidores, para assim, contribuir efetivamente para o desenvolvimento sustentável (REIS; ALVAREZ, 2007).

No contexto atual a diminuição dos impactos ambientais gerados pela humanidade, aliada a uma maior consciência ambiental por parte da população, são assuntos cada vez mais importantes e discutidos. Outro ponto importante é o que diz respeito ao desenvolvimento socioeconômico da população. Portanto, é de fundamental importância que essas duas necessidades se desenvolvam lado a lado. Para que isso aconteça precisa-se de acesso a materiais que causem baixo impacto ambiental e que tenham baixo custo, como é o caso da adição de materiais alternativos ao cimento Portland. Assim, o desenvolvimento de materiais que usam como matéria-prima fontes renováveis é uma alternativa viável para a diminuição dos impactos ambientais. Aliado a isso se tem o reaproveitamento de materiais, que também vem se tornando cada vez mais importante dentro desse contexto (CABRAL; AZEVEDO, 2016).

### 2.3 ADIÇÕES MINERAIS INERTES

Na definição de Malhotra e Mehta (1996), o termo adição, de forma abrangente, refere-se a qualquer material além de água, agregados e cimento, que é utilizado como um ingrediente do concreto e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura. Na literatura geral sobre concreto, entretanto, há uma definição distinta para as adições, que não se confundem com os aditivos. As adições são utilizadas com o objetivo de somar ou mesmo substituir, parcialmente, a matéria-prima cimento (devido às suas propriedades semelhantes às do cimento), enquanto que os aditivos são utilizados para alterar as características do cimento, sem alterar sua proporção na composição do concreto. Conforme sua ação físico-química no concreto, as adições minerais podem ser classificadas em três grupos distintos: materiais pozolânicos, material cimentante e fíler.

As adições minerais, de acordo com Mehta e Monteiro (2014) são geralmente materiais silicosos finamente divididos, normalmente adicionados ao concreto em quantidades variadas, desde 6 até 70% da massa do material cimentício total.

Dentre as adições minerais que não possuem atividade pozolânica, encontram-se os fílers que possuem apenas o efeito físico dentro de pastas cimentícias (GONÇALVES, 2000).

O fíler é um material finamente dividido sem atividade química, cuja atuação é basicamente um efeito físico de empacotamento granulométrico e ação como pontos de nucleação para a hidratação dos grãos de cimento (MOLIN, 2011).

Neville (1997) define fíler como um material finamente moído, com aproximadamente a mesma finura do cimento Portland que, devido as suas propriedades físicas, tem um efeito benéfico sobre as propriedades do concreto, como trabalhabilidade, densidade, segregação, permeabilidade, capilaridade, exsudação ou tendência à fissuração.

Segundo Gonçalves (2000) é importante diferenciar um agregado muito fino em: adição fíler e agregado fíler.

- Adição fíler: também chamadas apenas de fíler, são partículas muito finas ou moídas, que apresentam diâmetro médio menor que 50  $\mu\text{m}$ , e contribuem, principalmente, para um melhoramento da matriz cimentícia, para um maior preenchimento dos vazios deixados pelos produtos da hidratação do cimento ou pela não hidratação do cimento.
- Agregado fíler: são partículas finas, que apresentam diâmetro médio entre 50 a 150  $\mu\text{m}$ , e contribuem, principalmente para um maior preenchimento dos vazios deixados pela descontinuidade da curva granulométrica do agregado miúdo, ou seja, preenchimento dos vazios deixados pelo desajuste, desarrumação dos agregados.

Segundo Molin (2011), entre os resíduos brasileiros já estudados que podem ser utilizados como fíler, desde que devidamente moídos, com efeitos nas propriedades mecânicas majorados principalmente em concretos de baixa resistência ( $\leq 20 \text{ MPa}$ ), e ambientalmente adequados, podem-se citar o lodo de estações de tratamento de esgoto calcinado em incineradores, a cinza da combustão de eucalipto sem controle de temperatura, o resíduo do corte de granito, entre outros.

### **2.3.1 Adição Mineral de Resíduos do corte de Mármore e Granitos (RCMG)**

O setor de rochas ornamentais, fornecedor de material para construção, gera resíduos em todas as fases de beneficiamento do produto, desde a extração até o acabamento final. Na fase de corte dos blocos de rochas, nas dimensões comerciais, ocorre a geração de um resíduo fino, oriundo da abrasão do disco de corte na rocha. O resíduo de corte de mármore e granitos (RCMG) é carregado pela água utilizada na refrigeração e lubrificação dos discos de corte, tendo duas destinações principais: o despejo como efluente comum ou a deposição nos arredores das serrarias de rochas ornamentais (AFONSO, 2005).

Segundo Reis e Alvarez (2007) as atividades de extração e beneficiamento das rochas ornamentais se iniciam nas lavras, onde há a extração dos blocos, sendo estes encaminhados para o beneficiamento nas serrarias que incluem a serragem dos blocos em chapas, o polimento das chapas e o corte em ladrilhos com dimensões comerciais.

De acordo com o Código de Mineração (1967), entende-se por lavra, o conjunto de operações coordenadas objetivando o aproveitamento industrial da jazida, desde a extração de substâncias minerais úteis, até o beneficiamento das mesmas.

Segundo Reis e Alvarez (2007), em todas as etapas do processo há a geração de resíduo. Na etapa do beneficiamento, o corte dos blocos pode ser feito por equipamentos chamados teares, sendo de dois tipos: de fios diamantados e de lâminas metálicas, sendo este último denominado de tear convencional e existente em maior número nas indústrias atualmente.

A serragem dos blocos para obtenção das chapas pode ser feita através de fio diamantado ou utilizando polpa abrasiva (rocha moída e água). A grande maioria das serrarias utiliza polpa abrasiva no corte, que tem como principais objetivos: lubrificar e resfriar as lâminas, evitar a oxidação das chapas, servir de veículo ao abrasivo e limpar os canais entre as chapas (MOURA; LEITE, 2011).

No caso do tear convencional, esta lama é acrescida de cal e gralha de aço, que tem como principais finalidades: lubrificar e esfriar as lâminas de serragem, evitar a oxidação das mesmas, limpar os canais entre as chapas e servir como abrasivo para facilitar o processo de corte. A lama recircula no tear por meio de uma bomba submersa de eixo vertical, situada em um poço (reservatório) de recolhimento que fica sob o tear, onde a lama é bombeada para cima do bloco através de um sistema de chuveiros em movimentação. Durante a serragem, a lama retorna ao poço e fica mantida em circulação até o término da atividade de serragem das rochas. Ela deve ter sua viscosidade controlada durante o processo, para isso, é feito o acréscimo de

seus componentes: água, gralha e cal. A parte da lama que se torna muito viscosa é descartada e torna-se o resíduo, que em geral, é depositado em lagoas de sedimentação diretamente no solo, conforme Figura 9a, nos pátios das empresas. Em algumas empresas, o resíduo passa por um equipamento chamado filtro prensa, que diminui o teor de umidade, podendo-se nesse caso, reaproveitar parte da água, ficando o resíduo também condicionado nos pátios, o filtro prensa é representado na Figura 9b. Após a secagem do material na lagoa de decantação, o transporte e disposição do resíduo nos aterros industriais geram despesas consideráveis para as empresas (REIS; ALVAREZ, 2007).

Figura 9 - Lagoa de sedimentação de resíduo (a); Filtro prensa (b)



Fonte: Reis e Alvarez (2007)

De acordo com Ramos *et al.* (2013), o resíduo lamítico obtido no processo de corte das rochas graníticas é abundante e causa sérias preocupações ambientais. O uso desse material pode se tornar uma valiosa fonte de matéria-prima se for apropriadamente aplicada como substituição parcial do cimento na produção de concretos e argamassas.

Pode-se concluir que, a reciclagem do resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais contribui para a diminuição do impacto ambiental causado pelo setor e diminui a necessidade de áreas destinadas à grandes aterros industriais, podendo o resíduo entrar na fabricação de produtos substituindo matérias-primas que podem ser, muitas vezes, não renováveis. Dessa forma, considerando a indústria de beneficiamento de rochas ornamentais geradora de um produto de grande importância no contexto econômico, social e ambiental, percebe-se a urgência na adoção de programas e políticas de incentivo à prática da reciclagem. É urgente a necessidade de tornar realidade os importantes resultados oriundos do esforço científico, que

se encontram disponíveis nas bibliotecas acadêmicas das universidades e institutos de pesquisa, e que indicam várias possibilidades de uso e reciclagem desses resíduos. Dessa forma, a indústria de rochas ornamentais poderá almejar a continuidade de seu crescimento baseado nos conceitos de sustentabilidade e inserido num ciclo ecológico econômico coerente com os novos tempos (REIS; ALVAREZ, 2007).

#### 2.3.1.1 Caracterização do RCMG

O RCMG possui uma forma irregular, angulosa e diâmetro médio de 6,74  $\mu\text{m}$ . A estrutura do RCMG é tipicamente cristalina, entretanto não foi quantificada a fração vítrea (GONÇALVES; MOURA; MOLIN, 2002).

A partir dos resultados do ensaio de granulometria, obtidos por Moura e Gonçalves (2002), pode-se verificar que o resíduo de corte de mármore e granito possui cerca de 77% de fração menor que 0,075mm, caracterizando este material como um resíduo muito fino.

De acordo com Gonçalves (2000), o conhecimento das características químicas é de fundamental importância para o conhecimento do resíduo e avaliação do desempenho da aplicação em que este foi utilizado. Para avaliação do risco ambiental do RCG foram realizados ensaios de lixiviação e solubilização do resíduo de acordo com a NBR 10005 (ABNT, 1987) e NBR 10006 (ABNT, 1987), respectivamente. A partir dos resultados apresentados no ensaio de lixiviação, observa-se que nenhum dos seus compostos apresentou concentração superior em relação às especificações da norma. No ensaio de solubilização apenas o fluoreto apresentou concentração superior, classificando o RCG como um resíduo classe II – Não Inerte. Como o fluoreto não é uma substância que proporciona periculosidade ao resíduo, o RCG, apesar de ser classificado como não inerte, não é tóxico nem perigoso e, conseqüentemente, não apresenta riscos à saúde humana.

Segundo Sato, Galina e Teixeira (2018) o RCMG se caracteriza como sílico-aluminoso pela predominância de quartzo sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e por feldspato alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Em menores teores há presença de minerais do grupo das micas ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ), compostos estes presentes em rochas graníticas. Quanto à perda ao fogo, o valor encontrado de 3,5 gramas pode ser referente aos materiais provenientes do polimento, como ceras e resinas.

Nos estudos elaborados por Matta *et al.* (2013), na composição química do RCMG obtida por FRX, observa-se a predominância da sílica ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e alumina

( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) como seus principais constituintes, além do óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), proveniente do desgaste das lâminas de corte.

Resultados da análise química por FRX do resíduo do corte de granito, obtidos por alguns autores, foram compilados na Tabela 5.

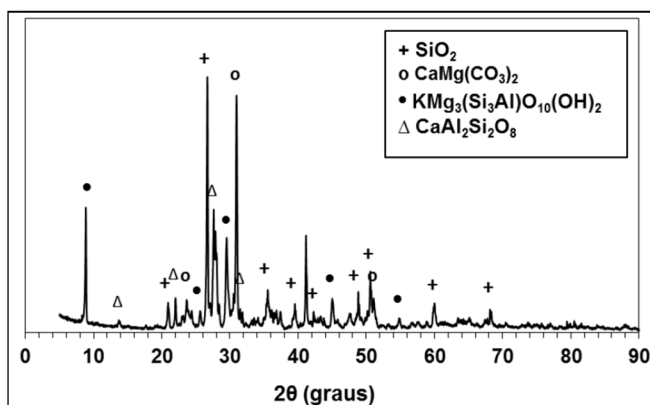
Tabela 5 - Ensaio de FRX no resíduo de Granito segundo autores relacionados

Teor de Óxido (%)	Moura, Gonçalves e Leite (2002)	Gonçalves, Moura e Molin (2002)	Neves <i>et al.</i> (1999)	Mittri <i>et al.</i> (2018)	Silva, Severo e Bezerra (2015)	Matta <i>et al.</i> (2013)
$\text{SiO}_2$	41,70	59,62	68,88	66,82	49,39	37,60
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,30	9,49	3,59	3,79	12,47	4,89
$\text{Al}_2\text{O}_3$	8,5	12,77	15,98	13,50	18,52	9,04
$\text{CaO}$	21,00	4,83	1,54	3,44	6,33	17,70
$\text{MgO}$	2,00	1,96	-	0,93	4,11	8,21
$\text{N}_2\text{O}$	-	-	2,42	-	-	-
$\text{K}_2\text{O}$	2,30	5,30	4,82	3,83	3,40	2,5
$\text{Na}_2\text{O}$	2,70	2,72	-	-	2,60	1,79
$\text{TiO}_2$	0,29	-	-	0,16	1,96	0,78
Outros	0,41	3,31	2,77	7,53	1,22	0,20
Perda ao fogo	16,80	-	-	3,5	-	17,29

Fonte: Adaptado pela autora (2019)

O arranjo desses elementos na formação de fases cristalográficas do material é ilustrado na Figura 10, no difratograma de raios X, onde a escala horizontal (ângulo de difração) fornece o espaçamento do arranjo cristalino, e a escala vertical (altura do pico) fornece a intensidade do raio. A intensidade de picos característicos de cada mineral é proporcional a sua quantidade. Constatou-se a ocorrência de minerais tipicamente componentes do granito, como quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), aluminossilicatos de cálcio ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) e flogopita (mineral da família das micas, classe dos filossilicatos, de fórmula química  $(\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2)$ ), assim como de dolomita, ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), devido à presença de mármore (MATTA *et al.*, 2013).

Figura 10 - Difratoograma de raios -X



Fonte: Matta *et al.* (2013)

### 2.2.1.2 Adição de RCMG em dosagens de concretos e argamassas

O Resíduo do corte de Mármore e Granitos, em diversos estudos e ensaios elaborados, foi adicionado em dosagens de concretos e argamassas com a finalidade de diminuir o consumo de cimento e, desta forma, proporcionar um destino apropriado ao RCMG.

Em seus experimentos utilizando o resíduo do corte de granito incorporado em matrizes cimentícias, Oliveira *et al.* (2011) concluíram que a substituição do cimento por resíduo de granito produziu resultados de resistência à compressão inferiores aos valores de referência (sem resíduo). Para uma dosagem de referência com proporção de cimento:areia em 1:3, fator água/cimento de 0,48, a resistência à compressão aos 28 dias alcançada foi de 48,32 MPa utilizando corpos-de-prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100mm de altura. A dosagem com 10% de substituição em massa de cimento por RCMG apresentou uma resistência de 43,69 MPa aos 28 dias, e com 20% de substituição apresentou 36,30 MPa na mesma idade, sendo 9,58% e 24,88% menores, respectivamente. Segundo Oliveira *et al.* (2011), a substituição do cimento por resíduo de granito não oferece vantagens para a matriz cimentícia no que diz respeito à resistência à compressão uniaxial.

Gonçalves, Moura e Molin (2002) constataram, no que se refere à resistência à tração por compressão axial, que os concretos com 10% de adição em massa do Resíduo do Corte de Granito (RCG) com granulometria de 6,74  $\mu\text{m}$ , apresentaram melhor comportamento em relação aos concretos de referência (sem adição). Em dosagens de concreto, com fator água/cimento de 0,55, as dosagens de referência apresentaram uma resistência média de 21,4 MPa aos 28 dias. Traços elaborados com 10% de substituição em massa do cimento com o RCG

atingiram uma resistência média de 23,6 MPa aos 28 dias, e com 20% de substituição apresentaram 26,3 MPa na mesma idade, sendo 10,28% e 22,90% maiores, respectivamente.

De acordo com Gonçalves, Moura e Molin (2002) os concretos produzidos com adição de RCG, em relação à resistência à tração na flexão, apresentaram uma diminuição de resistência aos 28 dias, em relação aos concretos de referência. Aos 28 dias, a resistência média das dosagens de referência foi de 6,1 MPa, as dosagens com 10% de substituição apresentaram 5,7 MPa e com 20% apresentaram 5,9 MPa, sendo 6,56% e 3,28% menores respectivamente, não havendo diferença significativa entre os resultados. A partir dos resultados obtidos no programa experimental realizado, os autores concluíram que o uso do resíduo de corte de granito (RCG) como adição em concretos é viável tecnicamente, do ponto de vista das propriedades mecânicas. Considerando o comportamento global dos concretos, 10% de adição de RCG apresenta-se como o teor ideal.

Segundo Silva, Severo e Bezerra (2015), ao substituir 10% em massa do cimento Portland por resíduo de granito com granulometria de 11,82  $\mu\text{m}$ , na fabricação de um concreto com traço de 1:2:3 (cimento:areia:brita) com relação a/c de 0,2, não foram encontradas diferenças significativas nas resistências à compressão nos tempos de cura de 14 e 28 dias. A dosagem de referência (sem incorporação do resíduo) apresentou uma resistência média de 27,5 MPa aos 28 dias, para as dosagens com a incorporação de 10% de resíduo, a resistência média foi de 28,0 MPa na mesma idade. Sendo assim, concluiu-se que é possível dar uma destinação adequada a este resíduo, contribuindo, desta forma, com o meio ambiente.

As misturas de concretos com adição de RCMG apresentaram maior coesão e uma diminuição da exsudação. O aumento do teor de adição de RCMG promoveu um aumento na coesão. A absorção por imersão está relacionada com a quantidade de água absorvida pelos poros acessíveis do concreto endurecido. Em um traço de concreto, a adição de 10% de RCMG diminuiu a absorção em 10,2%. Já com a adição de 20% de RCMG ocorreu um incremento de 2,5% (GONÇALVES, 2000).

Segundo Reis e Tristão (2007) o resíduo, extremamente fino, age como um “fíler” preenchendo os vazios na argamassa, contribuindo para melhoria de densidade e diminuição da porosidade. O efeito “fíler” nas propriedades das argamassas é associado ao aumento de densidade de mistura e uma aceleração de hidratação do cimento Portland. Verificou-se o aumento do módulo de deformação nas argamassas de revestimento com resíduo, o que pode ocasionar fissuração, pois o sistema de revestimento pode tornar-se pouco deformável.

A trabalhabilidade dos concretos foi avaliada através do ensaio de abatimento de troco de cone, conforme NBR 7223 (ABNT, 1992) idêntica a NM 67 (ABNT, 1998). O abatimento

foi estabelecido como uma variável controlada, fixado na faixa de 60 +/- 10 mm. Com a adição de RCG nos concretos, houve um incremento na coesão e consistência e, conseqüentemente, uma diminuição da exsudação. Este comportamento deve-se, principalmente, ao efeito das pequenas partículas de RCG difundidas pela mistura, que atuam como uma barreira física para o movimento ascendente da água. Este fato pode ser comprovado pela dificuldade de homogeneização da mistura. O comportamento foi conforme esperado, pois todo material com pequeno diâmetro tem este efeito (GONÇALVES, MOURA e MOLIN, 2002)

Ramos *et al.* (2013) fizeram experimentos utilizando resíduos de granito com granulometrias diferentes, denominados por Pó de Granito (PG) e Pó de Granito Superfino (PGS) na Tabela 6, como substituição parcial ao cimento em traços de argamassa, com 5% e 10% em massa na substituição. A argamassa de referência possuiu uma relação água/cimento de 0,5 e uma relação agregado/cimento de 3 (valores considerados em massa). Os autores concluíram que para os traços produzidos:

- A incorporação dos resíduos não afetou a trabalhabilidade da mistura;
- Houve redução de resistência à compressão conforme à porcentagem de resíduos adicionada;

Os resultados obtidos dos ensaios de resistência à expansão por reação álcali-sílica e difusão de íons cloreto melhoraram com a incorporação de resíduos superfinos de granito, obtendo melhores resultados com 10% de incorporação.

Tabela 6 - Tamanho das partículas utilizadas nos ensaios

Material	d <sub>10</sub> (μm)	d <sub>50</sub> (μm)	d <sub>90</sub> (μm)
Cimento	0,69	8,09	30,81
PG	1,55	13,05	55,46
PGS	0,84	3,48	13,34

Fonte: Ramos *et al.* (2013)

### 2.3.2 Adição mineral de Fíler Calcário

O fíler calcário é produto da trituração da rocha calcária que pode ser calcítica ou dolomítica. O efeito do fíler calcário é de ação tanto física quanto química, mesmo tratando esse material como inerte. O efeito físico ocorre em função da finura dos grãos que melhora o

empacotamento granulométrico da mistura diminuindo o volume de vazios. Quimicamente, o fíler acelera o processo de hidratação dos minerais do clínquer, como o  $C_3S$ , o que resulta em um aumento da resistência mecânica do concreto nas primeiras idades (MARANGON, 2006).

Segundo a definição da EFNARC (2005), a distribuição do tamanho da partícula, a forma e a absorção da água dos finos podem afetar a demanda de água e assim a trabalhabilidade na elaboração do Concreto e da Argamassa Auto-adensável. Os finos do carbonato de cálcio são amplamente usados e podem proporcionar excelentes propriedades reológicas e um bom acabamento final. O tamanho das partículas deve ser menor que 0,125 mm e preferivelmente mais que 70 % deve ser menor que 0,075 mm. Finos especialmente moídos para esta aplicação oferecem a vantagem de melhorar a uniformidade da distribuição do tamanho da partícula nas misturas, dando um maior controle da demanda de água e sendo especialmente adequados para o Concreto Auto-adensável (CAA).

Com relação à finura, da mesma forma que o cimento, quanto mais fino for o fíler maior será o consumo de água e maior a quantidade de aditivo superplastificante necessário para se obter uma determinada deformabilidade. Estudos em pastas de cimento com adições de fíler calcário de 50% em relação à massa de cimento apresentaram um aumento de deformabilidade e uma diminuição da ocorrência de exsudação e segregação das pastas (MELO, 2005).

## 2.4 ADITIVOS QUÍMICOS

De acordo com Radulović, Jevtić e Radonjanin (2016), as estruturas modernas são construídas através de combinações de vários materiais fisicamente especiais, funcionalmente inter-relacionados, os quais, suprem algumas necessidades em conjunto com a construção. Em paralelo, com os chamados materiais "tradicionais", uma série de novos materiais produzidos industrialmente são implementados e adaptados de acordo com os requisitos e funções da arquitetura moderna. Neste contexto, podemos citar a implementação de aditivos químicos e adições minerais em dosagens de argamassas e concretos, os quais modificam algumas das propriedades “tradicionais” dos materiais e auxiliam nas diversas etapas de execução de obras.

Aditivos e adições minerais em dosagens de CAAs e argamassas autonivelantes de contrapiso são fundamentais para o alcance das propriedades desejadas. As adições químicas e minerais contribuem com o aumento da trabalhabilidade e coesão das misturas, redução do fator

água-cimento, proporcionando materiais com alta capacidade de escoamento que atendam às demandas construtivas.

De acordo com Tutikian e Molin (2008), nos CAAs a grande quantidade de finos necessária para garantir a coesão da mistura e evitar a segregação do agregado graúdo é obtida com o emprego de aditivos modificadores de viscosidade ou teores elevados de adições de origem mineral. Essas adições melhoram as propriedades do concreto, devido ao aumento da densidade da mistura, causado pelo preenchimento dos espaços vazios por partículas minúsculas. As adições minerais podem ser inertes, quando agem fisicamente no concreto, melhorando a compacidade, ou quimicamente ativas, quando reagem com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) durante a hidratação do cimento.

Características descritas para o CAA são consideradas para a AAC, pela proximidade da formulação de ambos os materiais.

Os aditivos superplastificantes e os aditivos modificadores de viscosidade são os aditivos mais importantes para a produção das argamassas autonivelantes. A combinação destes produtos auxilia na produção de argamassas de cimentos de alto desempenho, com elevada fluidez e menores quantidades de água para uma mesma coesão (CHRISTIANO, 2004).

#### **2.4.1 Aditivo Superplastificante**

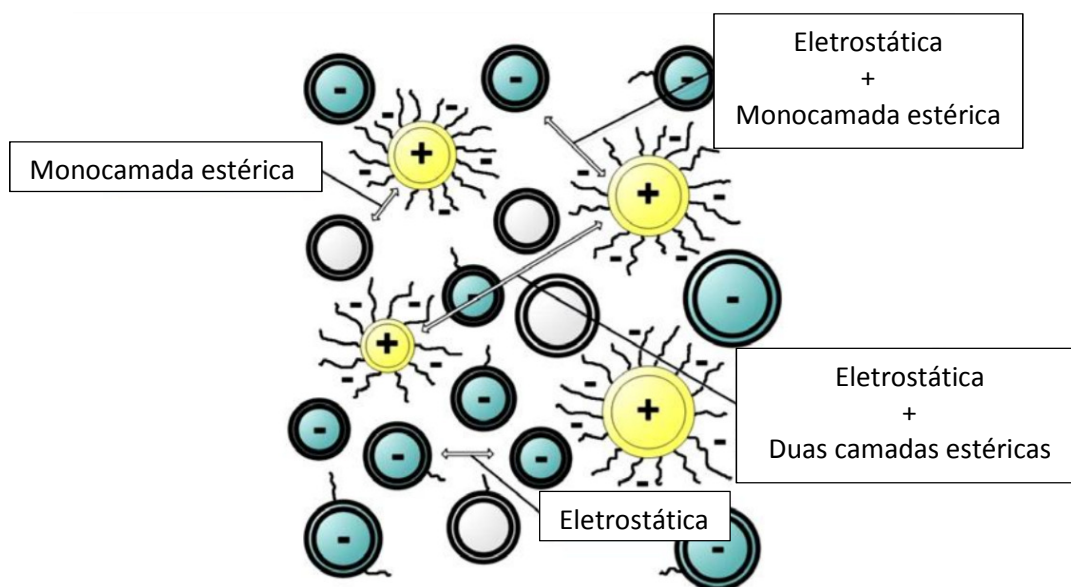
A NBR 11768 (ABNT, 1992) estabelece as condições dos materiais utilizados como aditivos para concretos de cimento Portland. Segundo a mesma norma, os aditivos superplastificantes aumentam o índice de consistência do concreto com quantidade de água de amassamento constante, ou seja, tornam o concreto mais fluido sem a necessidade de aumentar a quantidade de água da mistura. Podem ainda, reduzir pelo menos 12% da água de amassamento para se obter uma determinada consistência.

Segundo Mehta e Monteiro (2014), os aditivos superplastificantes são também chamados de redutores de água de alta eficiência, porque são capazes de reduzir a água de amassamento em uma determinada mistura de concreto de três a quatro vezes mais efetivamente quando comparados aos aditivos redutores de água plastificantes. Foram desenvolvidos na década de 1970 e têm ampla aceitação na indústria da construção de concreto. Consistem de surfactantes aniônicos de cadeia longa, de alta massa molecular com um grande número de grupos polares na cadeia de hidrocarbonetos. Quando adsorvido nas partículas de cimento, o

surfactante confere forte carga negativa, que ajuda a diminuir consideravelmente a tensão superficial da água circundante e eleva acentuadamente a fluidez do sistema.

Conforme Ferrari *et al.* (2010), o aditivo SP evita a aglomeração entre as partículas em suspensão e aumenta a fluidez. Uma das principais razões para a aglomeração é a atração entre as partículas de carga oposta, que formam aglomerados nas suspensões coloidais. A fim de melhorar a fluidez da mistura, mantendo a mesma relação água/cimento, os SPs agem como dispersantes aderindo à superfície das partículas e exercendo forças de repulsão entre estas. Os SPs do tipo éter policarboxílico, em forma de pente, são caracterizados por uma unidade de adsorção de espinha dorsal hidrofílica e uma cadeia lateral de óxido de polietileno. Estes aditivos são amplamente utilizados devido à sua versatilidade: o número e o comprimento das cadeias laterais e a sua densidade de enxerto são parâmetros flexíveis. Quando este aditivo é adsorvido na interface sólido-líquido em uma suspensão de partículas, induz uma força repulsiva entre as partículas que evita a formação de aglomerados, como apresentado graficamente na Figura 11 (FERRARI *et al.*, 2010).

Figura 11 - Representação esquemática do mecanismo de dispersão dos superplastificantes com base policarboxilato



Fonte: Ferrari *et al.* (2010)

### 2.4.2 Aditivo Modificador de Viscosidade

Os aditivos modificadores de viscosidade são produtos à base de polissacarídeos que substituem os finos do concreto e da argamassa, reduzindo a desuniformidade decorrente da variação granulométrica, ou seja, tornam a mistura mais homogênea. Com menos finos, tem-se uma mistura com área superficial menor, o que ocasiona um menor consumo de água. Além disso, os modificadores de viscosidade formam uma rede que sustentam os agregados, evitando a exsudação e segregação do concreto (TUTIKIAN; MOLIN, 2008).

Segundo Nunes (2001), a quantidade de aditivo modificador de viscosidade utilizada, suas características e a forma como interagem com o concreto variam de acordo com sua composição, podendo ser polímeros solúveis em água à base de celulose, acrílico ou glicol, biopolímeros e aditivos inorgânicos.

Quando a ação ocorre sobre as partículas de finos, percebe-se que o aumento de viscosidade causa uma redução da fluidez da pasta. Isso ocorre, pois quanto maior a quantidade de modificador de viscosidade adsorvida pelas partículas de finos, menor será a adsorção de superplastificante. Já os modificadores de viscosidade que agem sobre a água livre não são adsorvidos pelas partículas de finos, não reduzindo assim, a capacidade de adsorção do superplastificante. Dessa forma, quando são utilizados modificadores de viscosidade que agem sobre a água da mistura é mais fácil obter-se um concreto com fluidez e viscosidade adequadas (NUNES, 2001).

Tutikian e Molin (2008) afirmam que aditivos modificadores de viscosidade podem prejudicar o desenvolvimento de resistência à compressão do concreto, o que caracteriza uma desvantagem em relação à adição de fíler calcário.

Martins (2009) evidencia que a utilização moderada de aditivos modificadores de viscosidade mantêm as partículas finas da mistura suspensas, fornecendo coesão ao material e evitando a ocorrência de segregação e exsudação da argamassa. Os aditivos modificadores de viscosidade aumentam a coesão e estabilidade dos componentes da mistura, por meio de uma "formação de rede". O aditivo retém a água da pasta, mantendo em suspensão as partículas finas de sua composição.

## 2.5 USO DE FIBRAS EM CONCRETO E ARGAMASSAS

A indústria da construção civil está sempre em busca do aperfeiçoamento de seus materiais. Modernamente, evidencia-se a conveniência em se misturar diferentes materiais com o intuito de se obter um conjunto com melhores características que os materiais iniciais. Assim, algumas limitações da matriz cimentícia podem ser amenizadas. O reforço com fibras é uma proposta bastante interessante, devendo-se, no entanto, conhecer o mecanismo proporcionado por essas adições. Em concretos reforçados com fibras, deve-se entender a interface fibra-matriz com o intuito de melhor dimensionar a mistura, além de se entender as diferentes características das fibras, suas particularidades e suas deficiências, almejando-se a busca de um conjunto final que apresente baixo custo e desempenho satisfatório (GUIMARÃES, 2010).

Segundo Metha e Monteiro (2014), as fibras são adicionadas ao concreto para melhorar a resistência à fissuração, tenacidade, resistência, resistência à fadiga, resistência ao impacto e outras propriedades da engenharia. Na prática, a quantidade de fibras adicionada à mistura depende das propriedades da matriz cimentícia e do desempenho almejado. Normalmente, baixas quantidades de fibras (por exemplo, menos que cerca de 1% da fração volumétrica) são empregadas para controlar a fissuração por retração.

Conforme Guimarães (2010), existem parâmetros que influenciam nas características do concreto quando reforçado com a adição das fibras, como o teor adicionado, a geometria da fibra, sua distribuição, orientação, as suas resistências à tração e compressão e o seu módulo de elasticidade. Através destas propriedades, é possível analisar a fibra mais indicada para uma certa matriz cimentícia.

Radulović, Jevtić e Radonjanin (2016) realizaram ensaios em argamassas de contrapiso com adição de fibras de polipropileno e aditivo redutor de retração. Os autores elaboraram três dosagens:

Série I – Mistura de referência para argamassa de contrapiso (cimento + agregado + água);

Série II – Mistura cimentícia com reforço em microfibra (cimento + agregado + água + microfibra);

Série III - Mistura cimentícia com reforço em microfibra e aditivo redutor de retração (cimento + agregado + água + microfibra + aditivo redutor de retração).

As proporções estão descritas na Tabela 7:

Tabela 7 - Composição da argamassa convencional de contrapiso

Tipo de argamassa	Cimento (Kg)	Agregado (Kg)	Água (Kg)	Fibras (Kg)	Aditivo Redutor de Retração (Kg)
Série I	479,5	1438,5	182	-	-
Série II	502	1506	191	1,0	-
Série III	500	1500	180	1,0	10

Fonte: Adaptado de Radulović; Jevtić; Radonjanin (2016)

Comparando as dosagens mencionadas, nos ensaios de resistência à compressão, Radulović, Jevtić e Radonjanin (2016) concluíram que a argamassa série II, com reforço de microfibras, mostrou uma resistência 10% superior com a idade de 28 dias; 43,15MPa comparado com 39,30 MPa registrada na argamassa Série I. Nos estágios iniciais, esse aumento chegou a ser 30% superior, uma resistência de 28,07 MPa comparada com 21,73 MPa registrada na argamassa Série I. O aditivo redutor de retração mostrou um pequeno impacto na diminuição da resistência à compressão (apenas 1,5%) em comparação com as amostras elaboradas com fibra. Foram realizados ensaios de retração linear utilizando corpos-de-prova prismáticos de dimensões 4 x 4 x 16cm sob os parâmetros descritos pela norma 196-1 (EN, 2008), as amostras foram submetidas à cura úmida por três dias e posteriormente foram mantidas no laboratório em temperatura ambiente ( $H_r = 65\%$ ;  $T = 20 \pm 3^\circ\text{C}$ ). Os resultados obtidos para os ensaios de retração linear estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados obtidos do ensaio de retração linear

Idade (dias)	Retração das amostras (‰)		
	I	II	III
3	0,000	0,000	0,000
4	0,042	0,031	0,021
7	0,240	0,229	0,104
14	0,406	0,375	0,208
21	0,552	0,521	0,260
28	0,635	0,635	0,302
56	0,667	0,677	0,354
75	0,698	0,698	0,385
92	0,729	0,719	0,406
102	0,740	0,729	0,417
126	0,740	0,729	0,427

Fonte: Adaptado de Radulović; Jevtić; Radonjanin (2016)

Através da análise dos valores dos testes, os autores concluíram que o efeito da mistura redutora de retração é mais importante do que o impacto da adição de reforço de microfibras na contração dos compósitos de cimento. Ou seja, misturas contendo redutor de retração indicam decréscimo na retração na ordem de 42,3% em relação à referência, enquanto as séries contendo reforço de fibras apresentam menor retração em apenas 1,5%, quando comparadas à referência no 126º dia do teste. Nos estágios iniciais do teste, a retração é 26,2% menor do que a referência em série com fibra, que é uma contribuição da fibra na redução do aparecimento de fissuras nas primeiras idades dos compósitos (RADULOVIĆ; JEVTIĆ; RADONJANIN, 2016).

## 2.6 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO

Apesar do avanço tecnológico no desenvolvimento de novos materiais e no estudo das propriedades das argamassas, são realizadas proposições empíricas sobre diversas características analisadas. Um exemplo claro é a formulação de argamassas de revestimentos que atendam, ao mesmo tempo, a determinadas propriedades no estado fresco (trabalhabilidade) e no estado endurecido (capacidade de absorver deformação, resistência de aderência, dentre outras) que, em dado momento, é fundamentada em critérios qualitativos de caráter empírico. No caso das propriedades no estado fresco a situação aparentemente é mais complexa, fato que pode ser demonstrado pela carência de estudos capazes de avaliar sistematicamente este tema. É comum, inclusive no meio científico, a utilização de procedimentos baseados na experiência dos trabalhadores, pedreiros envolvidos no processo de produção dos sistemas de revestimento. Atualmente, é cada vez mais discutida no meio científico a necessidade de uma avaliação das propriedades das argamassas no estado fresco, que possibilite a real caracterização do seu comportamento. Esta caracterização deve, de certa forma, também envolver e relacionar os parâmetros tradicionalmente conhecidos como, por exemplo: condições de trabalhabilidade, consistência, plasticidade, dentre outros. Neste sentido, uma das possibilidades de novas discussões está baseada na aplicação de conceitos pertencentes ao estudo do comportamento reológico do material (SOUSA; LARA, 2015).

### **2.6.1 Trabalhabilidade**

Carasek (2007) refere-se à trabalhabilidade como a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que a mesma pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada, em uma condição homogênea. Associa a maneira como as argamassas se comportam ou “trabalham” na prática. Uma argamassa é chamada “trabalhável” quando permite que o pedreiro ou o aplicador execute bem o seu trabalho, ou seja, no caso de revestimento, por exemplo, que ele possa executar o serviço com boa produtividade, garantindo que o revestimento fique adequadamente aderido à base e apresente o acabamento superficial especificado.

### **2.6.2 Viscosidade**

Segundo Sousa e Lara (2015), a viscosidade expressa a resistência do fluido ao escoamento (em situação de fluxo), podendo ser considerada como o atrito interno, que resulta quando uma película do fluido é forçada a mover-se em relação à outra adjacente. Para a maior parte dos líquidos puros, e para muitas soluções e dispersões, a viscosidade ( $\mu$ ) é uma grandeza bem definida a uma dada temperatura e pressão.

As argamassas autonivelantes devem atingir uma determinada consistência no instante da sua execução, de modo que a sua viscosidade permita uma deformação conveniente pela ação do seu próprio peso. Desta maneira, a nata se espalhará sobre o substrato, formando uma superfície com a planicidade adequada à finalidade da camada: regularização ou acabamento (NAKAKURA; BUCHER, 1997).

### **2.6.3 Fluidez – Capacidade de Escoamento**

Segundo Nunes (2001), para a argamassa possuir uma capacidade de preenchimento adequada, deve existir equilíbrio entre a capacidade e a velocidade de deformação, que passa por reduzir o atrito inter-partículas e obter uma pasta com elevada deformabilidade. Para reduzir

o atrito dos agregados é necessário reduzir o número de contatos inter-partículas, por redução do conteúdo de agregados, resultando no aumento do conteúdo de pasta. A pasta deve exibir elevada deformabilidade e isto passa pela dispersão das partículas dos finos, o que foi possibilitado por uma nova geração de superplastificantes com elevado poder de dispersão. É importante assegurar elevada fluidez (valor baixo da tensão de escoamento) e, simultaneamente, elevada resistência à segregação (viscosidade moderada). Diferentemente da água, que reduz a tensão de escoamento e a viscosidade, a introdução de um superplastificante reduz essencialmente a tensão de escoamento (aumenta a fluidez) e causa uma diminuição limitada da viscosidade. Assim, pode obter-se uma argamassa ou concreto com elevada fluidez sem afetar significativamente a sua coesão.

#### **2.6.4 Retenção de água**

De acordo com Carasek (2007), retenção de água é uma propriedade que está associada à capacidade da argamassa fresca em manter a sua trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, seja por evaporação ou pela absorção de água da base. Tal característica torna-se mais relevante quando a argamassa é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou quando as condições climáticas estão mais desfavoráveis (alta temperatura, baixa umidade relativa do ar e ventos fortes). Esta propriedade interfere no comportamento da argamassa tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, pois as argamassas dependem, na maioria das vezes, de uma adequada retenção de água para que as reações químicas de endurecimento dos aglomerantes se efetuem de maneira correta. Dentre estas propriedades, podem ser citadas a aderência, a resistência mecânica final e a durabilidade do material aplicado.

#### **2.6.5 Aderência**

A aderência depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e da sua limpeza superficial. A avaliação de desempenho de um sistema de revestimento argamassado

frente a aderência à tração é verificada de acordo com ensaios normatizados, tendo em vista direcionar parâmetros de verificação de confiabilidade do conjunto (CARASEK, 2009).

Segundo definição da NBR 13528 (ABNT, 2010), a resistência de aderência à tração consiste na tensão máxima suportada por uma área limitada de revestimento, na interface de avaliação, quando submetido a um esforço normal de tração.

Carasek (2007) descreve o termo aderência para traduzir a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e a base, sendo o substrato, geralmente representado não só pela alvenaria, como também pela estrutura de concreto, que pode ser moldado in loco ou pré-moldada. A aderência é uma propriedade que depende da interação entre o substrato e o revestimento argamassado. Pode-se dizer que a aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato que são: a resistência de aderência à tração, cisalhamento e a extensão de aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

A metodologia de determinação da resistência de aderência à tração de revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas está descrito na NBR 13528 (2010). Já a NBR 13749 (2013) fixa as condições exigíveis de aderência à tração, incluindo os limites mínimos de resistência, como mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Limites de resistência de aderência à tração

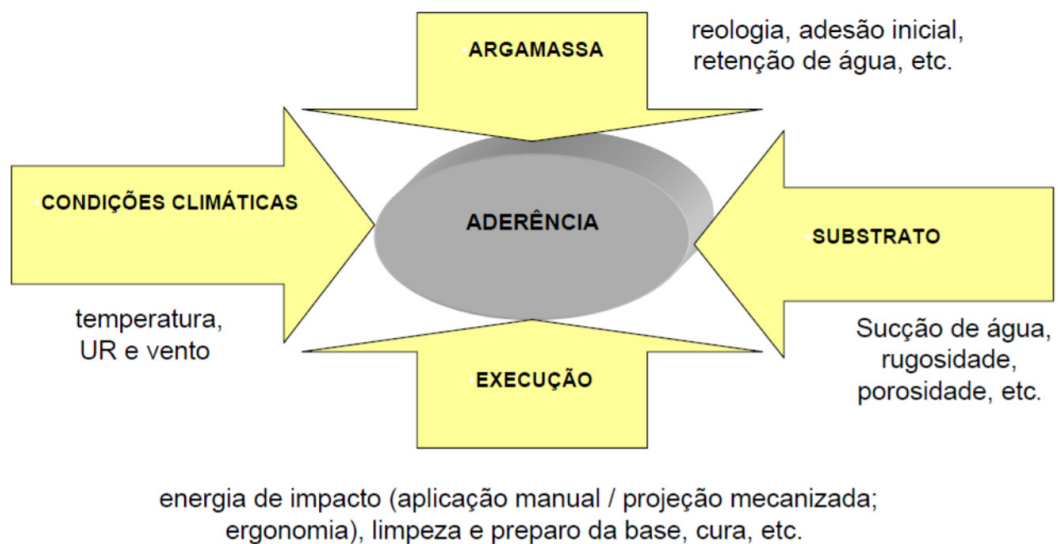
Local de Aplicação	Acabamento	Resistência de Aderência (MPa)
Parede Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
	Cerâmica ou laminados	$\geq 0,30$
Parede Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
	Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto		$\geq 0,20$

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 2013)

Segundo Carasek (2007) a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, devido, basicamente, à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Quando a argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente do substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e pelas cavidades do substrato. No interior dos poros, ocorrem

fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação do cimento e da cal, e, transcorrido algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem ação de ancoragem da argamassa à base. Tendo em vista os mecanismos de ligação, pode-se concluir que quanto melhor for o contato entre a argamassa e o substrato, maior será a aderência obtida. Dessa forma, a aderência está diretamente relacionada com a trabalhabilidade (ou reologia) da argamassa, com a energia de impacto (processo de execução), além das características e propriedades dos substratos e de fatores externos. A Figura 12 reúne os principais fatores que exercem influência na aderência.

Figura 12 - Fatores que exercem influência na aderência de argamassas sobre bases porosas



Fonte: Carasek (2007)

### 2.6.6 Retração

A retração é o resultado de um mecanismo complexo que está associado com a variação de volume da pasta aglomerante, apresenta papel fundamental no desempenho das argamassas aplicadas, especialmente quanto à estanqueidade e à durabilidade. A tensão de tração na argamassa oriunda da retração é função direta do seu módulo de elasticidade, as argamassas muito ricas em cimento sofrem notável influência da retração, estando mais sujeitas às tensões de tração que causarão fissuras (CARASEK, 2007).

Segundo Diniz, Fernandes e Kuperman (2011) a retração nos concretos e argamassas está associada a deformações em pastas de cimento (principalmente, devido a sua perda de

água), sem que haja qualquer tipo de carregamento, reações químicas deletérias e expansivas ou variações térmicas. O fenômeno de retração é oriundo da ação conjunta das retrações plástica, autógena, hidráulica ou por secagem e por carbonatação.

A retração plástica é influenciada também pelo teor de materiais pulverulentos (grãos com tamanho inferior a 0,075mm). De uma forma geral, quanto maior o teor de finos, maior a retração, principalmente quando os grãos possuem dimensões inferiores a 0,005mm, chamados de argila. Esses finos, de alto poder plastificante, devido à sua alta superfície específica e à sua natureza, para uma trabalhabilidade adequada, requerem maior quantidade de água de amassamento, gerando maior retração e fissuração, o que compromete a durabilidade dos revestimentos (CARASEK, 2007).

Segundo Fiorito (2009), na colagem de revestimento com argamassas colantes, é obrigatório aguardar que a argamassa do contrapiso ou do emboço atinja um elevado grau de sua retração antes que se processe o assentamento do revestimento. Em seus estudos observando a retração de diversas dosagens de argamassas de revestimento (sem propriedade autonivelante), Fiorito (2009) concluiu que para todas as argamassas e para a pasta de cimento, a retração aos sete dias de idade é de 65% a 80% da retração aos 28 dias (secagem ao ar). Na Tabela 10, o autor correlaciona a retração aos 7 e 28 dias de diferentes dosagens de argamassas.

Tabela 10 - Valores de retração aos 7 e 28 dias para dosagens de argamassa relacionadas

Argamassa	Retração aos 28 dias (mm/m)	Retração aos 07 dias		Proporção dos materiais
		(mm/m)	% aos 28 dias	
1:3	0,607	0,396	65%	Cimento: areia
1:4	0,648	0,431	66,5%	Cimento: areia
1:5	0,649	0,379	58,4%	Cimento: areia
1:6	0,601	0,472	78,5%	Cimento: areia
1:0,5:5	0,661	0,514	77,8%	Cimento: cal: areia
1:3:12	0,642	0,489	76%	Cimento: cal: areia
Pasta de cimento	1,416	1,018	71,9%	Cimento e água

Fonte: Adaptado de Fiorito (2009)

Carasek (2007) recomenda que nos procedimentos para execução de revestimentos em argamassas, quando estes servirão de base para outras camadas de argamassa ou revestimentos

colados (por exemplo, emboço ou contrapiso que receberá revestimento cerâmico aplicado com argamassa colante), deve-se esperar no mínimo 7 dias para execução das camadas ou serviços subsequentes, sendo mais prudente aguardar ao menos 14 dias, quando a maior parcela da retração já ocorreu. Com isso, garante-se a estabilidade dimensional das camadas de argamassa utilizadas como base. Tal estabilidade é necessária para evitar o surgimento de tensões de retração.

### **2.6.7 Segregação e Exsudação**

Segundo Mehta e Monteiro (2014), define-se segregação como a separação dos componentes de uma mistura de concreto fresco de tal forma que sua distribuição deixe de ser uniforme. Há dois tipos de segregação. O primeiro, que é uma característica das misturas de concreto secas, consiste na separação dos agregados da argamassa. A exsudação, é o segundo tipo de segregação e é característica de misturas de concreto muito fluidas.

Define-se exsudação como um fenômeno cuja manifestação externa é o surgimento de água na superfície após o concreto ter sido lançado e adensado, porém antes de sua pega (isto é, quando a sedimentação não pode mais ocorrer). A água é o componente mais leve de uma mistura de concreto. Assim, a exsudação é uma forma de segregação, porque os sólidos em suspensão tendem a se sedimentar sob a força da gravidade. A exsudação resulta da incapacidade dos materiais componentes em reterem toda a água de amassamento em um estado disperso, enquanto os sólidos mais pesados se assentam (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

De acordo Mehta e Monteiro (2014), uma combinação inadequada, quantidade excessiva de partículas do agregado graúdo com densidade muito alta ou muito baixa, pouca quantidade de partículas finas (devido a baixos consumos de cimento e de areia, ou utilização de areia com curva granulométrica inadequada) e métodos impróprios de lançamento e adensamento estão dentre as causas principais de segregação e exsudação em concreto. Naturalmente, os problemas podem ser reduzidos ou eliminados com a devida atenção à seleção de materiais, dosagem e métodos para o manuseio e lançamento do concreto.

### 2.6.8 Tempo de pega

Segundo Metha e Monteiro (2014), os tempos de início e fim de pega do cimento determinam a taxa de solidificação de uma pasta fresca de cimento. O ensaio de resistência à penetração, definido pela norma ASTM C 403, determina o tempo de início e o tempo de fim de pega, no entanto não registra uma alteração específica nas características físico-químicas da pasta de cimento. São puramente pontos de referência no sentido em que o primeiro define o limite de manuseio, e o último define o início do desenvolvimento da resistência mecânica.

Sahmaran, Christianto e Yaman (2006) em ensaios de tempo de pega, realizados em argamassas autonivelantes com auxílio de aditivos superplastificantes (1,5% da massa cimentícia) e modificadores de viscosidade (1,5%), encontraram tempos de hidratação compreendidos entre 479 min e 676 min (7:59 h e 11:16 h) para início e fim de pega, respectivamente.

Rubin (2015) em seus estudos com duas dosagens de argamassa de contrapiso com aparência seca (farofa), cujas proporções em massa de cimento:areia foram 1:3 e 1:6 e ensaiando três dosagens comerciais de argamassas autonivelantes, F1, F2 e F3, encontrou os valores de início e de fim de pega relacionados na Tabela 11.

Tabela 11 - Tempos de início e fim de pega em dosagens de argamassas

Argamassa	1:3	1:6	F1	F2	F3
Início de pega	4h 45min	6h 6min	6h 30min	5h 6min	44min
Fim de pega	8h 58min	10h 12min	10h 53min	6h	1h 12min

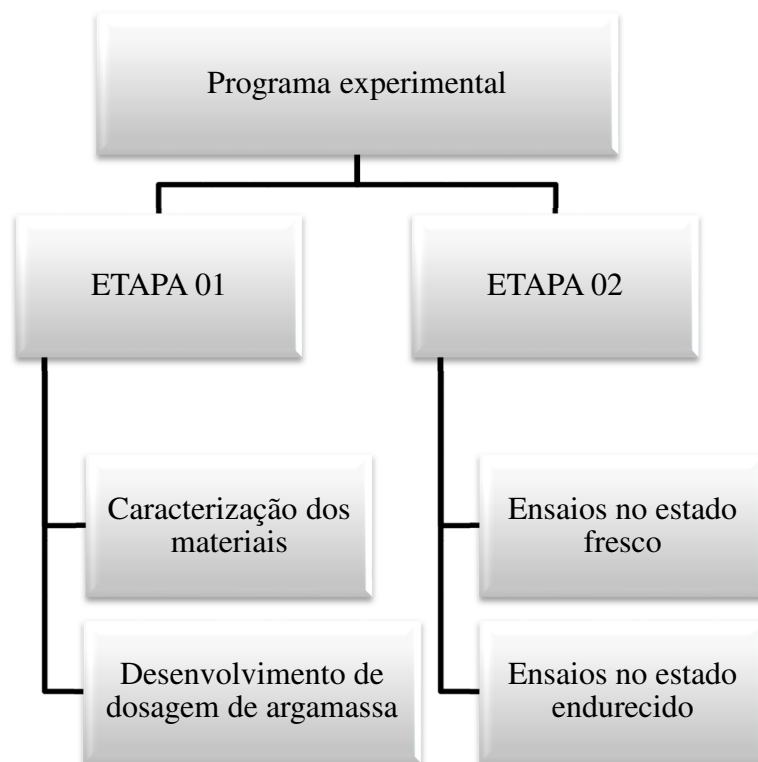
Fonte: Rubin (2015)

Nos estudos realizados por Rubin (2015), as argamassas autonivelantes apresentaram comportamento semelhante as argamassas farofas, no que diz respeito a tempos de início e fim de pega. O fenômeno de hidratação é resultante não só de um processo químico entre os compostos constituintes das argamassas, mas também de um processo físico, que varia em função da composição e propriedades dos materiais de cada mistura.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada na parte experimental da pesquisa foi desenvolvida em etapas, conforme fluxograma da Figura 13. Este fluxograma apresenta a ordem das atividades experimentais executadas, as quais serão detalhadas ao longo deste capítulo.

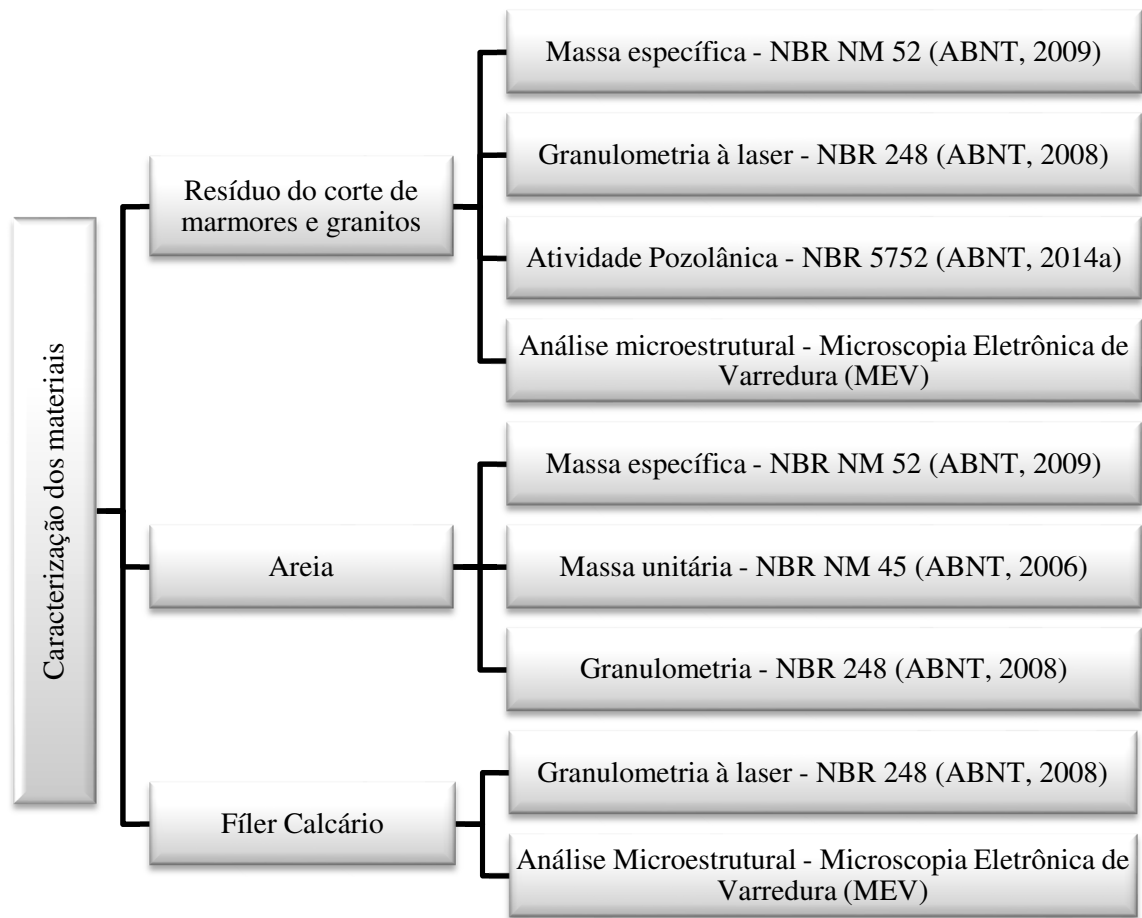
Figura 13 – Fluxograma representativo do procedimento experimental



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A Etapa 01 do programa experimental iniciou pela caracterização dos agregados miúdos: areia, RCMG e fíler calcário, conforme Figura 14. Posteriormente foram elaboradas misturas de argamassa com diferentes proporções de cimento, areia, resíduo de granito, água, aditivos superplastificantes e modificador de viscosidade.

Figura 14 – Fluxograma para caracterização dos materiais

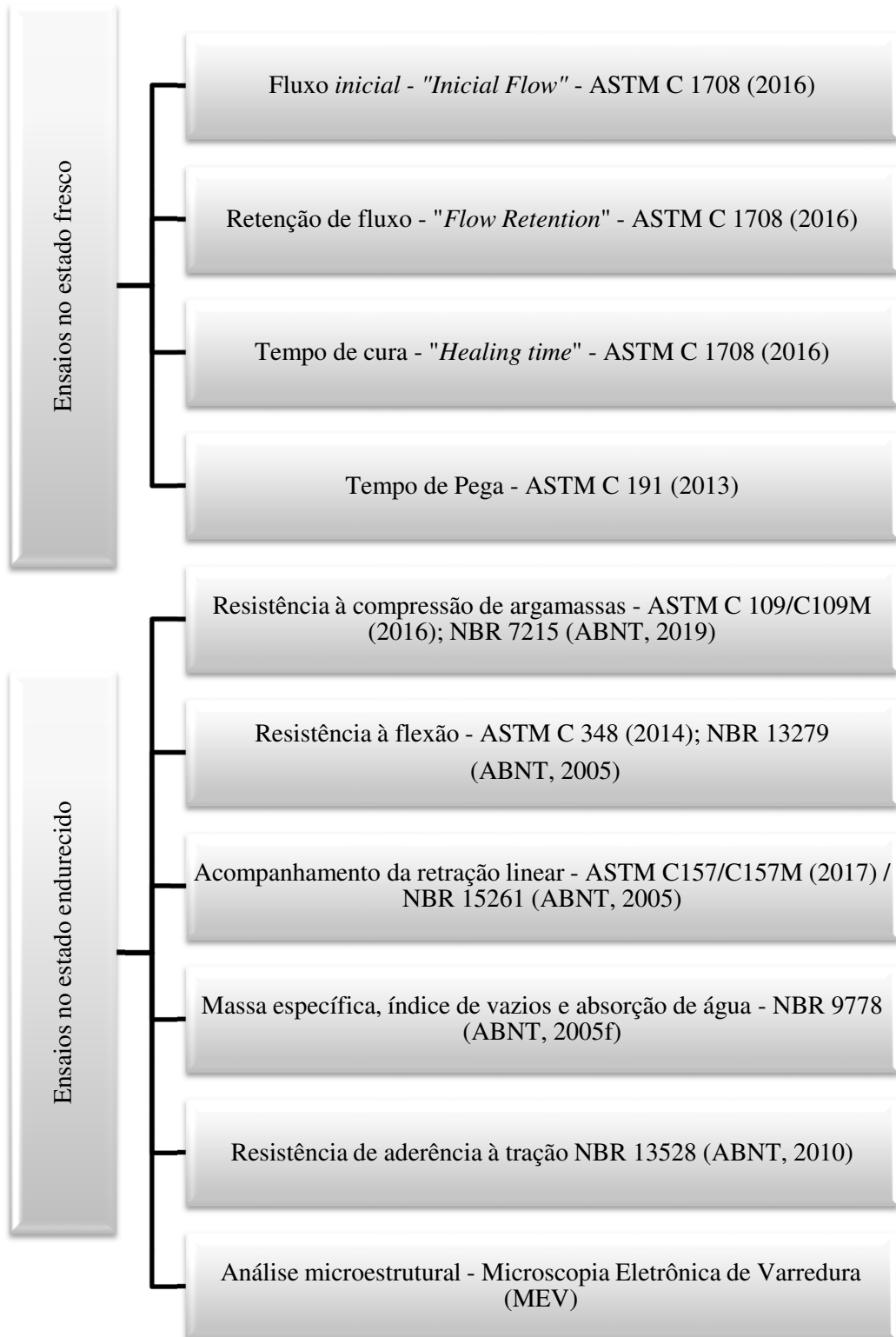


Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Na Etapa 02, os ensaios nos estados fresco e endurecido foram realizados conforme norma C 1708 (ASTM, 2016) e ensaios adicionais como: massa específica, índice de vazios e absorção de água, resistência de aderência à tração e microscopia eletrônica por varredura. A Figura 15 descreve a sequência dos ensaios realizados nos estados fresco e endurecido.

Após a realização dos ensaios, os resultados foram comparados entre si e com demais autores para análise dos critérios relacionados na norma C 1708 (ASTM, 2016) e para analisar a influência causada após modificação de parâmetros nas dosagens elaboradas.

Figura 15 - Fluxograma dos ensaios realizados nos estados fresco e endurecido



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para elaboração das argamassas foram utilizados os seguintes materiais: cimento Portland CP II Z-32, areia fina passante nas peneiras 60 -70 *mesh* fornecida pela empresa Mineração Veiga, resíduo do corte de mármore e granitos doado pela Marmoraria Trevo, fíler calcário e água da concessionária local.

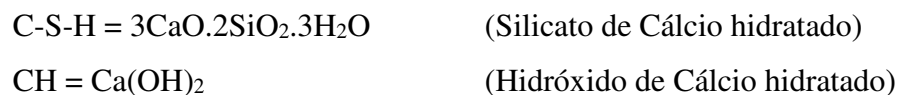
#### 3.1.1 Cimento Portland

Segundo Martins (2015), as matérias primas que são utilizadas na fabricação do cimento Portland consistem principalmente de calcário (Ca), sílica (Si), alumina (Al) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). As reações que fazem com que o cimento se torne um agente ligante ocorrem na pasta, quando os silicatos e aluminatos sofrem hidratação formando uma matriz firme e resistente (pasta de cimento endurecida). O silicato de cálcio (CSH) e o hidróxido de cálcio cristalino (CH) são os principais produtos formados da hidratação do C3S ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) e do C2S ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ), conforme as Equações 1 e 2.

Silicatos de cálcio (C3S e C2S):



Principais componentes formados:



O cimento escolhido para desenvolvimento das dosagens de argamassa autonivelante foi o VOTORAN CPII Z-32 da empresa Votorantin, comercialmente chamado de “Cimento Todas as Obras”. Este tipo de cimento foi escolhido por ser largamente utilizado na região de Joinville-SC e por apresentar diversas possibilidades de aplicação, onde não é exigida nenhuma propriedade especial da argamassa ou do concreto.

O CP II Z-32 é composto por pozolana, cuja resistência à compressão a ser atingida aos 28 dias é de 32 MPa. Suas propriedades atendem desde estruturas de concreto até argamassas de revestimento e assentamento. Este tipo de cimento apresenta tamanho de partículas menor que 41 µm e possui em sua composição de 6 a 15% de pozolana (VOTORANTIM, 2018).

A Tabela 12 apresenta as características do cimento Portland quanto à finura, tempo de pega e resistência à compressão.

Tabela 12 – Características do Cimento Portland CP II Z -32

Finura	Tempo de pega (h)		Resistência à compressão (MPa)	
	Início	Término	3 dias	28 dias
Resíduo na peneira 75mm				
≤12	≥1	≤10	≥10	≥32

Fonte: Votorantim (2018)

Para efeito de comparação, foram realizados ensaios com o Cimento de Alta Resistência Inicial (ARI). O uso deste tipo de cimento nas dosagens de argamassas autonivelantes para contrapiso supre a necessidade de se utilizar/trabalhar sobre o pavimento, horas após a execução do mesmo. Característica de obras com alta velocidade de execução. Na região de Joinville-SC foi encontrada a composição CP V-ARI-RS fabricada pela Votorantim Cimentos e comercializada com o nome de “Cimento Obras Especiais – Industrial”.

O Cimento CP V-ARI-RS da Votorantim Cimentos apresenta alta resistência e é indicado para situações em que se necessita de desforma rápida e alguma resistência a agentes abrasivos do meio ambiente, especialmente o ataque por sulfatos. Pode ser aplicado em artefatos, pré-moldados, blocos, pavers, concreto protendido de alto desempenho, pisos intertravados e pré-fabricados em geral (VOTORANTIM, 2018).

O consumo de cimento foi calculado conforme Equação 3:

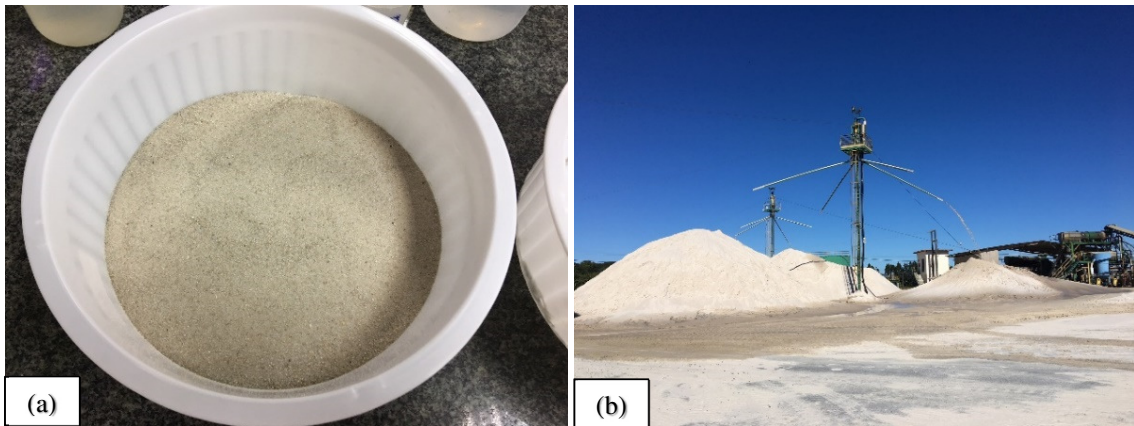
$$\text{Consumo de cimento} = \frac{\text{Volume a ser produzido em dm}^3}{\left(\frac{1}{\mu_{\text{CIMENTO}}} + \frac{m_{\text{Areia}}}{\mu_{\text{AREIA}}} + \frac{m_{\text{Resíduo}}}{\mu_{\text{RESIDUO}}} + \frac{m_{\text{Água}}}{\mu_{\text{ÁGUA}}}\right)} \quad (3)$$

onde  $\mu$  é a massa específica e  $m$  é a massa dos materiais utilizados na dosagem.

### 3.1.2 Agregado miúdo

Foi utilizada areia natural fina de cava, seca em estufa, obtida por mineração na cidade de Araquari-SC. O material foi disponibilizado pela empresa mineração Veiga e denominado por Areia MF. 60 -70 AFS (Areia Fina Seca), nomenclatura utilizada para areias muito finas passantes pelas peneiras 60-70 *mesh*. De acordo com Isaia (2011), são considerados finos, os materiais com dimensões de partículas menores do que 0,150 mm, sendo indicado que mais que 75% tenham dimensões menores do que 0,075 mm. A Figura 16 demonstra material utilizado e os depósitos de areia na mineradora.

Figura 16 - Areia 60-70 AFS (a); Mineração Veiga (b)



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

### 3.1.3 Água

A água utilizada foi fornecida pela concessionária local, com pH entre 6,3 e 6,8, segundo a Companhia Águas de Joinville.

### 3.1.4 Resíduo do corte de mármore e granitos

O resíduo utilizado foi obtido através do processo de beneficiamento de rochas na empresa Marmoraria Trevo/Joinville. O material foi coletado nas valas de decantação próximas a área de corte do material.

O material, misturado com água, encontrava-se em estado lodoso. Posterior a coleta, o resíduo foi seco em estufa por 48 horas em temperatura aproximada de  $100 \pm 2$  °C. O resíduo seco foi então passado pela peneira 150 µm antes de ser empregado em argamassas. A Figura 17 indica o disco de corte onde o resíduo é gerado na marmoraria e o RCMG pronto para ser empregado nos traços de argamassas.

Figura 17 - Disco de corte de empresa beneficiadora (a); RCMG seco em estufa e peneirado (b).



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

### 3.1.5 Fíler Calcário

O fíler calcário, conforme Figura 18, foi utilizado para substituir o RCMG em dosagem de argamassa e desta forma obter um comparativo entre os resultados obtidos, visto que a formulação da argamassa comercial utilizada nos ensaios é composta por fíler calcário.

Figura 18 - Fíler calcário



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

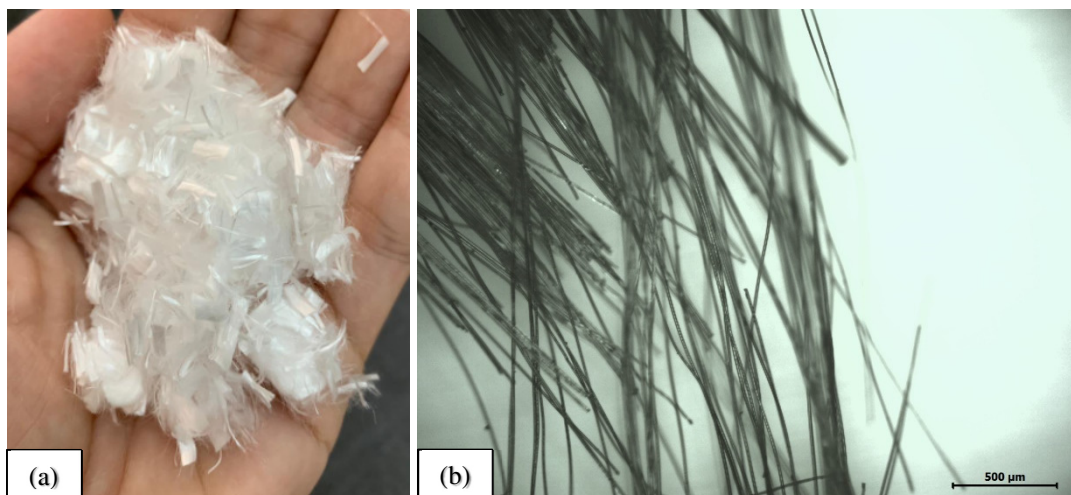
O material foi obtido através da empresa Mineração Calwer, localizada no norte do estado de Santa Catarina, na cidade de Botuverá.

### 3.1.6 Fibras sintéticas de Polipropileno

Para os ensaios de retração e resistência à tração na flexão, foram confeccionados corpos-de-prova com fibras sintéticas de polipropileno na proporção de 4g de fibras para 1Kg de cimento. Segundo Neofibra (2017), as fibras são filamentos de polipropileno extremamente finos obtidos através do processo de extrusão. Após receberem tratamentos superficiais que facilitam a dispersão no concreto/argamassas, os filamentos são cortados dando origem as microfibras de polipropileno.

Segundo o boletim técnico do fabricante, as microfibras, quando misturadas à argamassa, atuam principalmente na fase plástica do concreto/argamassa reduzindo a incidência de fissuras de retração plástica e de assentamento e controlando a exsudação e a segregação (NEOFIBRA, 2017). A Figura 19 demonstra as fibras de polipropileno.

Figura 19 - Fibras de polipropileno (a); Fibras com aumento de 50x (b);



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

De acordo com o fabricante, as fibras possuem 6 mm de comprimento e 12 μm de diâmetro. Sua área superficial é de 366 m<sup>2</sup>/Kg e a frequência é de 1.620 milhões de fibras/Kg. O material possui uma densidade relativa de 0,91 g/cm<sup>3</sup>, deforma 25% de seu comprimento na

ruptura por tração, possui ponto de fusão de 160 °C e ponto de ignição de 365 °C. As fibras são comercializadas em pacotes de papel hidrossolúvel (NEOFIBRA, 2017).

### 3.2 ETAPA 01: ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E PREPARO DAS ARGAMASSAS

Conforme fluxograma apresentado na Figura 14, a seguir são descritos os procedimentos realizados para caracterização do agregado miúdo, do resíduo utilizado e do fíler calcário.

#### 3.2.1 Determinação da massa específica da areia

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

A NBR NM 52 (ABNT, 2009) padroniza o método para a determinação da massa específica do agregado miúdo. Para a realização deste ensaio, foi necessário que a amostra de agregado miúdo ficasse em repouso por 24 horas submerso em água. Após 24 horas de imersão da amostra, o excesso de água foi retirado e o agregado saturado estendido em uma superfície plana. Iniciou-se então o processo de secagem do material através da ação de uma corrente de ar até que os grãos de areia não estivessem muito aderidos entre si.

Para a determinação da massa específica é necessário que o agregado miúdo esteja na condição saturada superfície seca. Para isso, um molde tronco-cônico foi preenchido com a amostra em uma superfície plana e compactado com 25 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície livre do agregado. Ao retirar o molde, a amostra desmoronou parcialmente, assim, o agregado encontrava-se na condição ideal para o ensaio. Caso a amostra conservasse a forma do molde, teria umidade superficial no agregado, logo, deveria continuar a secagem. Se a amostra desmoronasse totalmente ao retirar o molde, o agregado estaria muito seco, então, deveria adicionar uma pequena quantidade de água ao agregado e deixá-lo em um recipiente tampado por 30 minutos e iniciar o processo de secagem.

Quando a condição saturada superfície seca do agregado foi atingida, 500g do material foi transferido para o frasco calibrado (picnômetro) e registrado a massa de todo o conjunto

(frasco + areia + mola). O frasco foi então preenchido com água até a marca de 500 ml e foram realizados movimentos circulares até eliminar todas as bolhas de ar. Em seguida, o frasco foi colocado em um banho à temperatura constante de 21°C e mantido em repouso por aproximadamente uma hora. Após esse tempo, o picnômetro foi completado com água até a marca de 500 cm<sup>3</sup> e registrado a massa do conjunto.

Depois, o agregado miúdo foi retirado do frasco com cuidado, para que não houvesse perda de material, e levado à estufa para secar. Após o resfriamento da amostra, foi anotada a massa da amostra seca.

A massa específica do agregado foi determinada pela Equação 4:

$$d_3 = \frac{m_s}{(V - V_a) - \frac{(m_s - m)}{\rho_a}} \quad (4)$$

onde,  $d_3$  é a massa específica do agregado (g/cm<sup>3</sup>);  $m$  é a massa da amostra seca em estufa (g);  $V$  é o volume do frasco (cm<sup>3</sup>);  $V_a$  é o volume da água adicionada ao frasco (cm<sup>3</sup>);  $m_s$  é a massa da amostra na condição saturada superfície seca (g) e  $\rho_a$  é a massa específica da água (g/cm<sup>3</sup>).

### 3.2.2 Determinação da massa específica do RCMG

Para determinar a massa específica do RCMG, foi necessário realizar o ensaio através da picnometria de gás hélio, técnica utilizada para determinar a densidade real de materiais em forma de pó.

O picnômetro a gás determina o volume de sólidos por variação de pressão de um gás em uma câmara de volume conhecida. Geralmente utiliza-se o gás hélio, por ser leve, inerte e monoatômico. Devido ao pequeno tamanho dos seus átomos, o gás penetra facilmente nos poros do material, permitindo determinar com mais precisão o seu volume (GOMES, 2010).

O equipamento de picnometria de gás hélio (Figura 20) é constituído por duas câmaras de volumes conhecidos (por calibração prévia). Uma delas é onde se coloca a amostra e a outra é a câmara de expansão, ambas ligadas por uma válvula de expansão (MOURA; FIGUEIREDO, 2002).

Figura 20 - Equipamento de picnometria de gás hélio



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

Segundo Moura e Figueiredo (2002) e Viana *et al.* (2002), o procedimento para determinar o volume do material consiste em duas etapas. Na primeira etapa, a amostra é colocada na câmara e submetida a um processo de desgaseificação, que consiste em repetidas purgas com gás hélio para remover impurezas e umidade que eventualmente pode conter. A segunda etapa consiste em levar todo o sistema à pressão atmosférica e, em seguida, isolar a câmara de expansão, fechando a válvula de expansão e pressurizando a câmara que contém a amostra até uma pressão  $P_1$ . Em seguida a válvula de expansão é aberta, fazendo com o que ocorra uma queda de pressão ( $P_2$ ). O volume da amostra é calculado segundo a Equação 5:

$$V_s = V_a - \frac{V_e}{\frac{P_1}{P_2} - 1} \quad (5)$$

onde,  $V_a$  é o volume da câmara da amostra;  $V_e$  é o volume da câmara de expansão e  $V_s$  é o volume do sólido

A massa específica do material analisado foi calculada automaticamente pelo equipamento através da relação entre a massa do sólido e o volume do sólido para cada ciclo realizado (total de 10 ciclos).

### 3.2.3 Determinação da massa unitária

A massa unitária para materiais granulares foi determinada pela NBR NM 45 (ABNT, 2006) e pode ser definida como a massa por unidade de volume aparente. Através da massa unitária foi possível determinar as quantidades necessárias de cada material, em massa, considerando o traço volumétrico da argamassa.

Para o ensaio, foi necessário usar um recipiente cujo volume era conhecido. Este recipiente foi preenchido com o agregado miúdo lançado de uma altura de 5 cm do topo do recipiente, tomando cuidado para que não ocorresse segregação das partículas devido a batidas no recipiente que poderiam acontecer durante a realização do ensaio.

A superfície foi então rasada e o recipiente pesado. A massa unitária do material foi determinada pela Equação 6, sendo o resultado final a média de três ensaios.

$$\gamma = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (6)$$

onde  $\gamma$  é a massa unitária (g/cm<sup>3</sup>);  $m_2$  é a massa do recipiente (g);  $m_1$  é a massa do recipiente preenchido com material (g) e  $V$  é o volume do recipiente

### 3.2.2 Análise Granulométrica

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003). O procedimento experimental determina o diâmetro máximo do agregado miúdo, o módulo de finura e a curva granulométrica. Segundo a norma, os agregados miúdos são classificados segundo a Tabela 13:

Tabela 13 - Classificação dos agregados miúdos segundo o módulo de finura

Agregado	Módulo de finura (MF)
Muito Grosso	$MF \geq 3,90$
Grosso	$3,3 \leq MF < 3,90$
Médio	$2,4 \leq MF < 3,30$
Fino	$MF < 2,40$

Fonte: NBR NM 248 (ABNT, 2003).

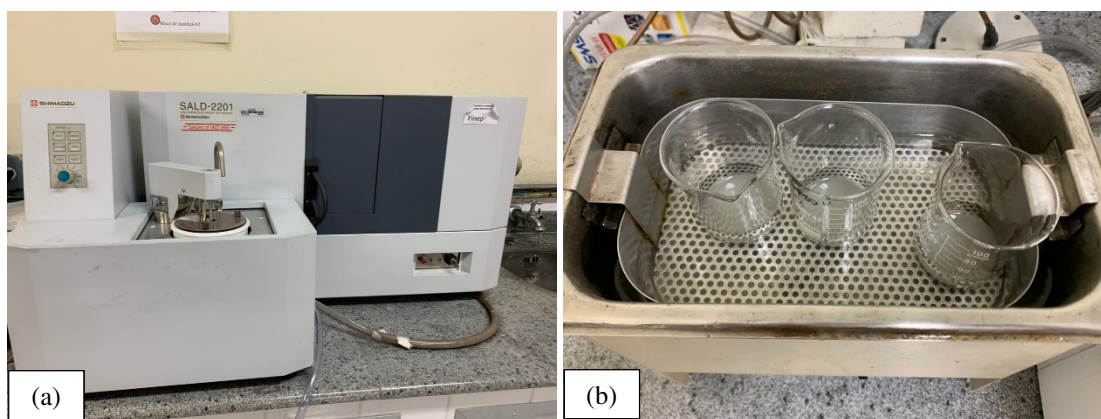
### 3.2.3 Granulometria à Laser

Segundo Christofolletti e Moreno (2016), a técnica de análise de tamanho de partículas por difração de laser é um método pelo qual as partículas são dispersas num fluido em movimento causando descontinuidades no fluxo do fluido, que são detectadas por uma luz incidente, e correlacionadas com o tamanho de partícula.

O ensaio de Granulemetria à Laser foi realizado no Laboratório do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade do Estado de Santa Catarina, por meio do equipamento Analisador de Tamanho de Partículas a Laser modelo SALD 2201 – fabricante Shimadzu, conforme Figura 21.

O RCMG e o fíler calcário foram dissolvidos em solução de hexametáfosfato de sódio. Aproximadamente 0,5 gramas de material para 20 ml de hexametáfosfato de sódio. Para homogeneização das soluções, os materiais foram misturados por 15 minutos no agitador de partículas antes de serem inseridos no Analisador de Tamanho de Partículas.

Figura 21 - Analisador de Tamanho de Partículas à laser (a); Agitador de partículas (b)



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

### 3.2.5 Atividade pozolânica

Para a determinação da atividade pozolânica do resíduo do beneficiamento do corte de mármore e granitos foi realizado o ensaio conforme a norma NBR 5752 (ABNT, 2014).

Primeiramente foi verificado se a quantidade de resíduo retida na peneira de abertura de malha 45  $\mu\text{m}$  foi menor que 20%. Caso contrário, o material deve ser moído até que a porcentagem retida seja inferior a este valor, preferencialmente entre 10% e 15%.

Em seguida, foram realizadas duas misturas de argamassas, sendo uma de referência e outra contendo 25% em massa de material pozzolânico em substituição ao cimento CP II-F-32. A quantidade de materiais utilizados (cimento, água e areia proveniente do IPT: areia normal fina, areia normal média fina, areia normal média grossa e areia normal grossa) foi determinada conforme a NBR 7215 (ABNT, 2019). O índice de consistência da argamassa contendo resíduo foi mantido igual ao índice de consistência obtido pela argamassa de referência.

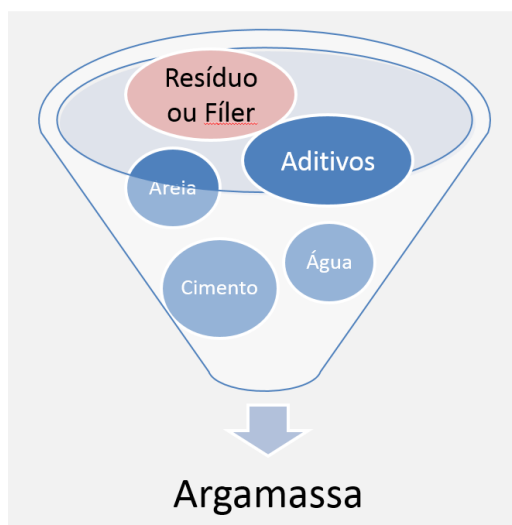
Para este ensaio, foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 50 x 100 mm para cada mistura de argamassa, conforme indicação da norma. Após 28 dias de cura submersos no tanque de água, foi realizado o ensaio de resistência à compressão dessas argamassas. A NBR 12653 (ABNT, 2015) estabelece um parâmetro mínimo para o índice de atividade pozzolânica com cimento, aos 28 dias, em relação à argamassa de referência que deve ser, no mínimo, de 90%.

A atividade pozzolânica é dada pela relação entre a resistência à compressão da argamassa com o material em estudo e a resistência à compressão da argamassa de referência.

### **3.2.6 Mistura das Argamassas Autonivelantes**

As argamassas foram preparadas de acordo com as recomendações estabelecidas pela NBR 16541 (ABNT, 2016), os procedimentos foram modificados, visto que o material não se comporta como uma argamassa convencional e que não existe normativa que defina o procedimento de mistura de argamassas autonivelantes. Os materiais: areia, cimento, resíduo ou fíler, água e aditivos, conforme Figura 22, foram adicionados ao misturador mecânico. Conforme NBR 7215 (ABNT, 2019) o misturador mecânico para argamassas consiste em uma cuba de aço inoxidável com capacidade de aproximadamente 5  $\text{dm}^3$  e uma pá de metal, que gira em torno de si mesma e também descreve movimento planetário, em torno do eixo da cuba, movimentos estes em sentidos opostos.

Figura 22 - Componentes para formulação da mistura



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Inicialmente, foram colocados no misturador mecânico (onde o recipiente e a pá já estavam umedecidos) a areia, o cimento, o resíduo e 75% da água em quantidades definidas no traço, em seguida os materiais foram misturados por 20 segundos na velocidade baixa, os aditivos foram acrescentados junto com os 25% finais da água e a argamassa foi misturada por mais 10 segundos na velocidade baixa. Em seguida o misturador foi modificado para velocidade alta durante 60 segundos. O processo foi pausado por 90 segundos onde o recipiente e a pá da argamassadeira foram raspados, garantindo que a mistura fosse 100% homogeneizada, a argamassa permanece em repouso até completar os 90 segundos. O misturador foi novamente ligado na velocidade baixa por um período de 60 segundos, finalizando o ciclo.

### 3.3 ETAPA 02: ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

A análise das argamassas no estado fresco e endurecido foi realizada com base na norma americana C 1708 (ABNT, 2016) que regulamenta uma série de ensaios a serem realizados no estado fresco e endurecido.

### 3.3.1 Ensaios no Estado Fresco

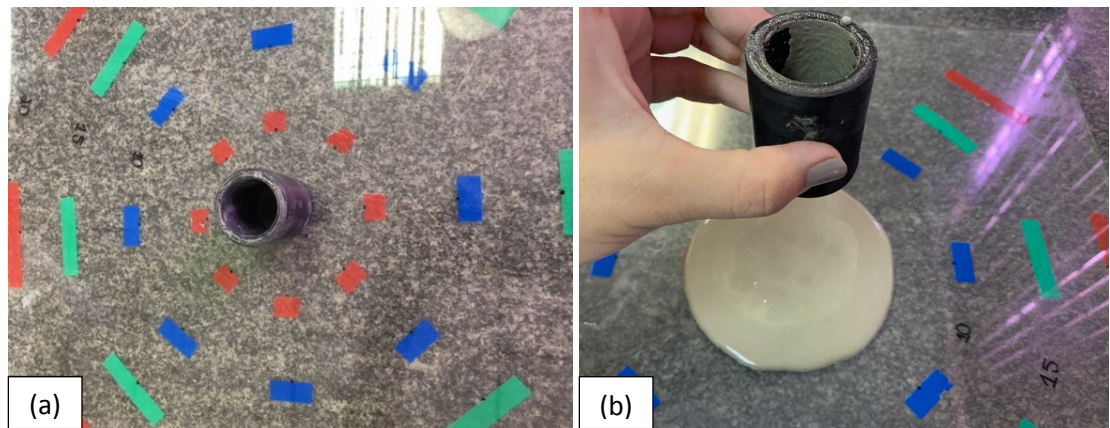
#### 3.3.1.1 Escoamento inicial – “Initial Flow”

O escoamento de uma argamassa autonivelante é caracterizado pela habilidade do material se espalhar e ocupar os espaços. Estabelecer um valor aceitável de escoamento é fundamental para o uso apropriado da argamassa. Caso o escoamento seja baixo, a argamassa não tem a propriedade de se autonivelar, no entanto, se o escoamento é muito alto, o material perde a coesão e segrega. Uma faixa apropriada de escoamento deve ser estabelecida para determinar a quantidade apropriada de água quando avaliada as propriedades físicas da argamassa, norma C 1708 (ABNT, 2016).

Os ensaios de escoamento inicial – “*inicial flow*”, também chamado de ensaio de espalhamento, foram realizados com um cilindro de 30 mm de diâmetro por 50 mm de altura (volume de 35,34 cm<sup>3</sup>), chamado de anel de escoamento – “*flow ring*” sobre uma base quadrada de vidro com as dimensões de 400 x 400 x 6mm, conforme Figura 23. Para realizar o procedimento, a argamassa é inserida no cilindro, logo após a mistura, em um período de 2 segundos o anel é levantado a uma altura de 50 a 100 mm acima da base e o cronômetro iniciado. A argamassa deve se espalhar durante  $240 \pm 10$ s, para, a seguir, ser medido o diâmetro de escoamento em duas direções, o diâmetro médio corresponde ao escoamento inicial. Segundo a norma ASTM C 1708 (ABNT, 2016), para que a argamassa seja denominada como autonivelante, o diâmetro mínimo ( $D_{\min}$ ) de escoamento deve ser de 125 mm e o diâmetro máximo deverá ser de 150 mm.

Para realização dos ensaios, um cilindro foi confeccionado por impressão 3D no FabLAB/UDESC de Joinville, com as especificações descritas pela normativa americana C 1708 (ABNT, 2016). Para avaliar o diâmetro de escoamento das argamassas foram demarcadas circunferências na base de vidro com diâmetros a partir de 125 mm.

Figura 23 - Cilindro e base para realização do ensaio (a); ensaio de espalhamento inicial (b)



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

### 3.3.1.2 Retenção de fluxo – “Flow retention”

O ensaio de retenção de fluxo possibilita determinar o tempo em aberto para uso da argamassa, com a propriedade autonivelante.

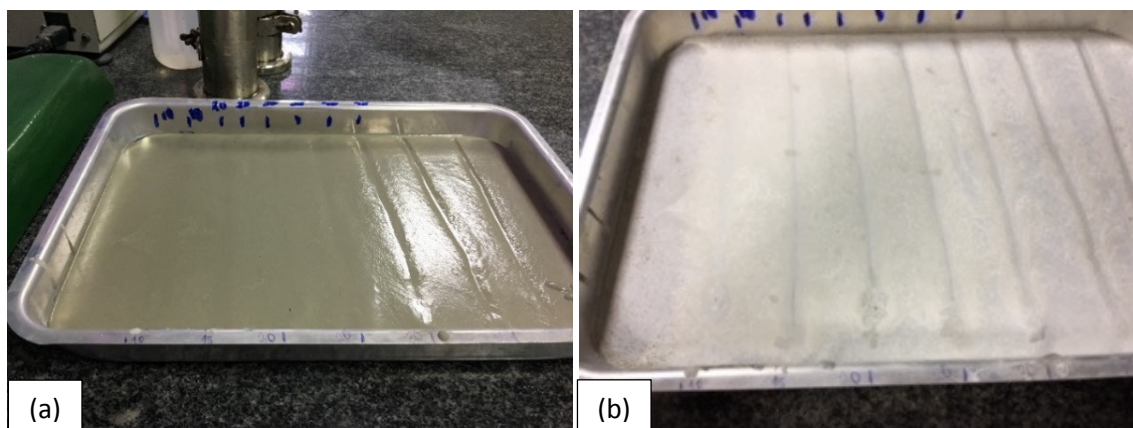
Para a determinação da retenção de fluxo, o ensaio de escoamento inicial – espalhamento, é repetido aos 20 e 30 minutos após a água ser adicionada à mistura da argamassa seca – momento denominado de “*starting time*”, então, os diâmetros obtidos são comparados para avaliação da retenção de fluxo. Antes de cada ensaio de espalhamento, a argamassa deve ser misturada na argamassadeira padronizada, em um período de tempo de 5 a 10 segundos.

### 3.3.1.3 Tempo de regeneração – “Healing time”

Segundo a norma ASTM C 1708 (ABNT, 2016), a regeneração do material corresponde a habilidade da argamassa autonivelante retornar ao seu estado original de leveza e suavidade após um corte específico introduzido em sua superfície. O procedimento para determinação do tempo de regeneração – “*healing time*” consiste em realizar cortes na argamassa até a mesma não retornar ao seu estado original, sem marcas, reentrâncias e desníveis na superfície. Para realização do ensaio, a argamassa, logo após a mistura, é depositada em uma fôrma retangular com dimensões mínimas de 210 x 210 mm e com profundidade mínima de 9 mm em metal ou

vidro. Os cortes iniciam após 10 minutos da mistura dos componentes da argamassa seca com a água – “*starting time*”, os demais cortes são realizados com a periodicidade de 5 em 5 minutos. A Figura 24a demonstra o ensaio sendo realizado no estado fresco e a avaliação dos cortes após a argamassa estar endurecida (Figura 24b).

Figura 24 - Ensaio de “*healing time*”: argamassa no estado fresco (a); argamassa no estado endurecido (b).



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Para realização dos cortes, utiliza-se uma barra metálica maciça com pelo menos 150 mm de comprimento, a mesma deve ser inclinada com um ângulo de 45 graus. O primeiro teste se inicia com uma distância de 25 mm da parede lateral esquerda da fôrma. Os cortes devem ser feitos suavemente na mistura e cada corte deve ter 25 mm de distância do corte anterior. O ensaio deve permanecer em cura, ao ar, pelo período da noite antes de avaliar o tempo de regeneração.

O tempo percorrido entre o “*starting time*” e o primeiro corte na argamassa que não se corrija naturalmente, determina o tempo de regeneração das argamassas autonivelantes.

#### 3.3.1.4 Determinação do tempo de pega em argamassas autonivelantes

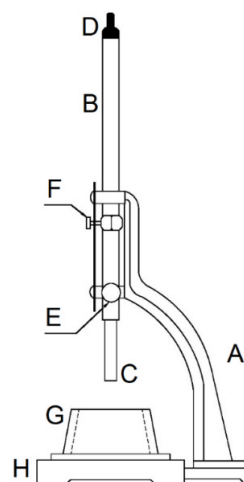
Este método consiste na determinação do tempo de início e fim de pega das argamassas autonivelantes utilizando o Aparato de Vicat, ensaio padronizado pela norma americana C 191 (ASTM, 2006). São realizados ensaios periódicos de penetração com a agulha de Vicat de 1.0 mm, registrando o tempo transcorrido entre o contato inicial da argamassa com a água e o tempo

em que a penetração da agulha na amostra corresponde a 25 mm, as medições iniciam 30 minutos após a mistura da argamassa. O tempo final de pega é determinado quando a agulha visivelmente não penetra na pasta.

Segundo a norma C 1708 (ABNT, 2016) para argamassas autonivelantes, a primeira leitura deverá ser obtida aproximadamente 30 min antes do tempo de pega inicial, sendo que, a agulha deve estar limpa para aderir ao material durante as penetrações. Nos ensaios realizados, foi utilizado o método A (manual) descrito pela norma americana C 191 (ASTM, 2006). A Figura 25 representa o Aparato de Vicat com suas respectivas descrições:

Figura 25 - Aparato de Vicat

- A – Armação;
- B – Haste móvel;
- C – Extremidade do êmbolo;
- D – Agulha de aço removível;
- E – Parafuso de ajuste;
- F – Indicador Ajustável;
- G – Molde tronco-cônico;
- H – Base de vidro.



Fonte: Norma C 191 (ASTM, 2006)

### 3.3.2 Ensaios no Estado Endurecido

#### 3.3.2.1 Acompanhamento da retração linear - relógio comparador

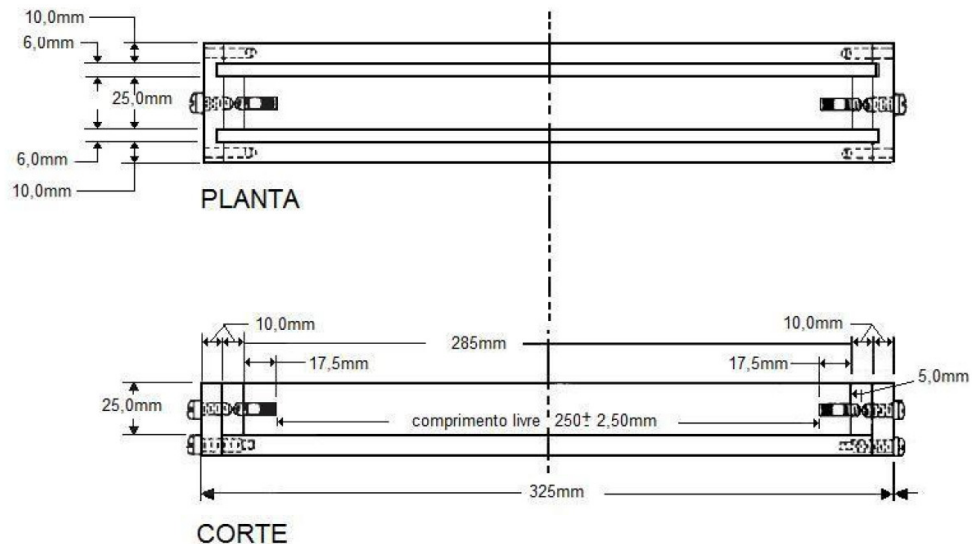
Este ensaio utiliza os corpos de prova descritos na norma C490 - 04 (ASTM, 2003). Trata-se de corpos prismáticos, de dimensões 2,5 x 2,5 x 28,5 cm, que possuem pino metálico em cada uma das extremidades, axialmente centrados, conforme Figura 26. A distância interna entre os pinos é chamada distância livre, e deve ser medida antes da moldagem dos prismas.

Segundo a norma NBR 15261 (ABNT,2005), o ensaio deve dispor de um relógio comparador com resolução de 0,001 mm. O aparelho deve ser verificado sempre antes de cada série de leituras, com auxílio de barra padrão devidamente aferida (material certificado de referência).

O ensaio verifica a mudança de comprimento nos prismas em um período de tempo pré-determinado, detectando a presença de retração ou expansão nas argamassas ensaiadas.

A norma C 1708 (ABNT, 2016) determina que seja realizada uma leitura inicial com  $24h \pm 15min$  após o tempo de mistura e sequencialmente sejam realizadas demais aferições aos 3, 7, 14 e 28 dias de idade. As argamassas devem permanecer em temperatura ambiente.

Figura 26 - Molde utilizado para ensaios de retração com relógio comparador.



Fonte: Adaptado de norma C 490 – 04 (ASTM, 2003)

Logo após a desforma, os corpos de prova são identificados, no mínimo três para cada argamassa ensaiada, assinalando inclusive uma referência que permita colocá-los sempre na mesma posição no aparelho de medida, conforme figura 27. A massa dos corpos de prova é determinada e as leituras iniciais ( $L_0$  e  $M_0$ ) são efetuadas, registrando-se os valores obtidos (ABNT 15261, 2016).

Figura 27 - Corpos de prova para retração linear



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

De acordo com a norma NBR 15261 (ABNT,2005), na apresentação dos resultados devem constar os valores correspondentes às variações dimensionais, caracterizada como retração (quando negativa) ou expansão (quando positiva), na idade “i”, arredondada ao centésimo mais próximo, em milímetros por metro. A variação de massa e comprimento é calculada pelas Equações 7 e 8:

$$\varepsilon_i = \frac{L_i - L_0}{0,25} \quad (7)$$

onde:

$\varepsilon_i$  é a medida da variação dimensional;

$L_i$  é a leitura efetuada na idade final, em milímetros;

$L_0$  é a leitura efetuada após a desforma, em milímetros;

$i$  é a idade de leitura.

$$\Delta m_i = \frac{m_i - m_0}{m_0} 100 \quad (8)$$

onde:

$\Delta m_i$  é a variação de massa, arredondada ao décimo mais próximo, em porcentagem;

$m_i$  é a massa na idade final, em gramas;

$m_0$  é a massa após a desforma do corpo de prova, em gramas.

### 3.3.2.2 *Determinação da Resistência à tração na flexão e à compressão*

A resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas foram determinadas de acordo com as normas:

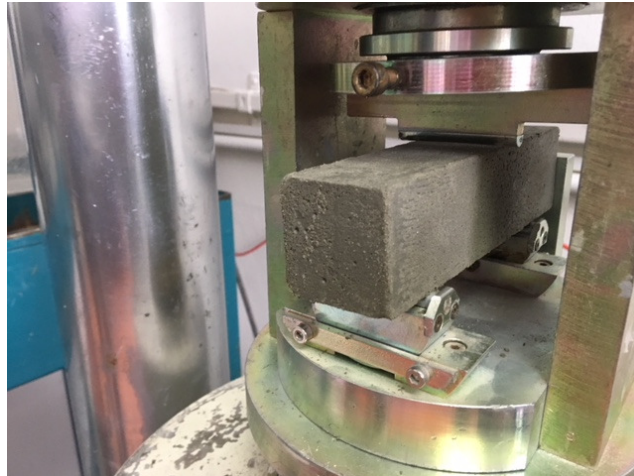
- C109/C109M (ASTM, 2016) - Método de teste para determinação da resistência à compressão em argamassas de cimento hidráulico;
- C348 (ASTM, 2014) - Método de teste para determinação da resistência à flexão em argamassas de cimento hidráulico;
- NBR 7215 (ABNT, 2019) - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos
- NBR 13279 (ABNT, 2005) - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão

Para os ensaios de resistência à compressão foram preparados nove corpos-de-prova cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, ensaiados com 1, 7 e 28 dias de idade, três corpos-de-prova em cada data respectivamente, para cada tipo de argamassa. Para resistência à flexão foram moldados seis corpos de prova prismáticos de 40 x 40 x 160 mm com 3 e 28 dias de idade, três corpos-de-prova em cada data respectivamente, para cada tipo de argamassa, conforme Figura 28. A prensa hidráulica disponível para os ensaios não registrou com precisão os resultados de resistência à tração na flexão com 1 dia, conforme proposto pela norma C 1708 (ASTM, 2016), sendo assim, foi adotado como referência a primeira verificação de resistência aos 3 dias de idade. A quantidade de corpos de prova para a realização dos ensaios foi determinada com base na norma C1708 (ASTM, 2016).

Para a determinação da resistência à tração na flexão foi utilizado o equipamento EMIC PC200. O corpo de prova foi posicionado no dispositivo de carregamento de modo que, a distância dos apoios das extremidades foi fixada em 25 mm; desse modo a amostra ficou com 11 cm entre os apoios. Em seguida, foi aplicada uma carga de  $(500 \pm 50)$  N/s até a ruptura da amostra.

Para a determinação da resistência à compressão das argamassas foi utilizado o equipamento EMIC PC200; a carga aplicada em cada amostra foi de  $(500 \pm 50)$  N/s até ocorrer à ruptura dos corpos de prova.

Figura 28 - Ensaio de tração na flexão



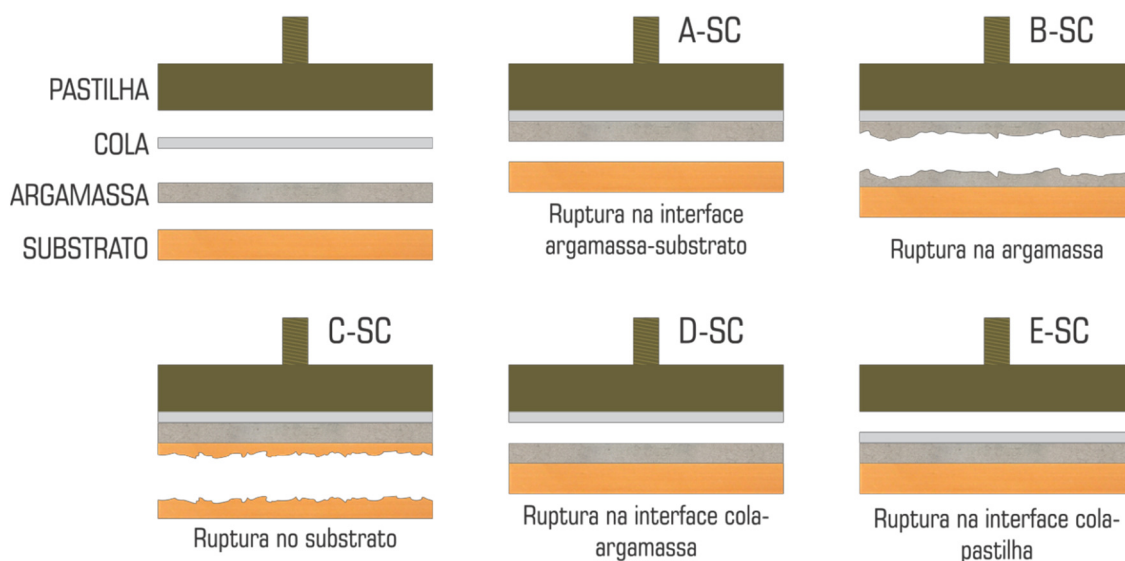
Fonte: Elaborado pela autora (2018)

### 3.3.2.3 *Determinação da resistência de aderência à tração*

O ensaio da resistência de aderência à tração das argamassas foi realizado conforme a NBR 13528 (ABNT, 2010). O equipamento de tração utilizado para este ensaio foi um dinamômetro manual digital da marca Solotest, que permite aplicação contínua de carga, fácil manuseio e baixo peso. Foram usadas pastilhas com diâmetro de 50 mm e cola à base de resina epóxi de alta aderência com espessura de 2 mm aproximadamente. Neste ensaio foi avaliada a tensão máxima suportada pela argamassa e sua aderência com o substrato de concreto, quando submetida a um esforço normal de tração, frente ao método de arrancamento.

Para o ensaio, foi utilizada como substrato uma laje em concreto armado curada ao tempo. No processo de execução da laje o concreto foi alisado com uma régua, processo frequentemente utilizado no canteiro de obras, deixando a superfície “naturalmente” rugosa. A espessura de argamassa de contrapiso utilizada nos testes foi de 15 mm. De acordo com Temp apud Carasek (2007) para argamassas autonivelantes, desconsidera-se a presença de chapisco entre a argamassa e o substrato. Os tipos de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração foram adaptados para a execução sem chapisco (SC) e devem ser observados conforme Figura 29.

Figura 29 - Tipos de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa, considerando o revestimento aplicado diretamente ao substrato (sem chapisco).



Fonte: Temp *apud* Carasek (2007)

Quando realizado o ensaio de aderência à tração, nos sistemas de revestimentos argamassados, deve-se analisar com cautela os tipos de rupturas que ocorrem. Se a ruptura for de maneira coesiva ocorre no interior da argamassa ou substrato (tipos B ou C), neste caso, os valores são menos preocupantes, desde que sejam muito baixos. Por outro lado, quando a ruptura for do tipo adesiva (tipo A), os valores devem ser mais elevados pois existe um maior potencial para patologia. A ruptura tipo D significa que a porção mais fraca é a camada superficial do revestimento de argamassa e quando os valores obtidos são baixos indica resistência superficial inadequada (pulverulência). A ruptura tipo E é um defeito de colagem, devendo este ponto de ensaio ser desprezado (CARASEK, 2007).

De acordo com Nakakura e Bucher (2007), o ensaio se destina a medir se o piso funcionará adequadamente como um sistema, dado que esta camada também é incorporada à capacidade portante da laje ou base e, conseqüentemente, deve ficar monoliticamente unida a ela.

O ensaio da resistência de aderência à tração das argamassas foi realizado conforme instruções da NBR 13528 (ABNT, 2010). O equipamento de tração utilizado para este ensaio foi um dinamômetro manual digital da marca Solotest, que permite aplicação contínua de carga, fácil manuseio e baixo peso. Foram usadas pastilhas com diâmetro de 50 mm e cola à base de resina epóxi de alta aderência com espessura de 2 mm aproximadamente. Os pontos de

arrancamento foram espaçados entre si, além dos cantos e das quinas, em 50 mm no mínimo, conforme Figura 30.

Por não existir um valor normativo de referência para contrapiso, os ensaios tomaram como referência valores limites de resistência para revestimentos de parede e teto de argamassas, referência normativa existente mais adequada a este cenário do contrapiso com argamassa fluida por também ser uma camada de revestimento de argamassa inorgânica, apesar das diferentes solicitações. Foi considerado, para análise dos resultados de resistência de aderência à tração nos ensaios em contrapiso, o limite mínimo de resistência para revestimentos de parede e tetos, valor de 0,30 MPa, conforme NBR 13749 (ABNT, 2013).

Figura 30 - Ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

#### 3.3.2.4 *Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*

O ensaio realizado para determinar a absorção de água, o índice de vazios e a massa específica da argamassa no estado endurecido seguiram os procedimentos da NBR 9778 (ABNT, 2005).

Segundo a norma técnica, para a realização deste ensaio é necessário à utilização de, no mínimo, duas amostras para cada tipo de argamassa. Estas amostras foram secadas em estufa por 72 horas para que fosse possível determinar sua massa na condição seca. Em seguida, as amostras foram imersas em água por um período de 72 horas. Após a etapa de saturação, as amostras foram levadas a ebulição por 5 horas, mantendo-se constante o volume de água. Finalizada a fervura, a água foi resfriada até chegar à temperatura ambiente e foi registrada a

massa dos corpos de prova através da balança hidrostática. Em seguida, as amostras foram secas com um pano úmido e foi determinada a massa saturada após imersão e fervura.

A absorção de água foi calculada por meio da Equação 9:

$$A = \frac{m_{sat} - m_s}{m_s} 100 \quad (9)$$

Onde,

$A$  é a absorção de água (%);

$m_{sat}$  é a massa da amostra saturada em água após imersão e fervura (g) e

$m_s$  é a massa da amostra seca em estufa (g).

O índice de vazios das argamassas foi calculado utilizando a Equação 10:

$$Iv = \frac{m_{sat} - m_s}{m_{sat} - m_i} 100 \quad (10)$$

Onde,

$Iv$  é o índice de vazios (%) e

$m_i$  é a massa da amostra saturada imersa em água após a fervura.

A massa específica das argamassas no estado endurecido foi calculada através da Equação 11:

$$pr = \frac{m_s}{m_s - m_i} \quad (11)$$

Onde,

$pr$  é a massa específica real (g/cm<sup>3</sup>).

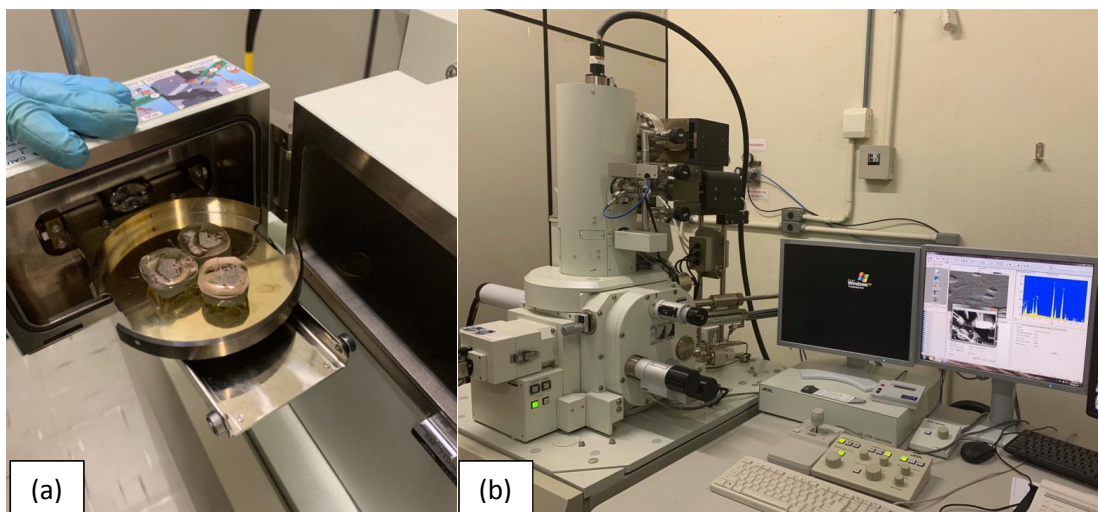
### 3.3.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

O Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) utilizado para obtenção das imagens das amostras foi o Field Emission, modelo JSM-6701F, de fabricação da JEOL LTD, associado a um Espectrômetro de Energia Dispersiva (energy dispersive X-ray spectrometry, EDS), no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UDESC-CCT.

Para análise no MEV das argamassas, as seguintes etapas foram seguidas para a preparação das amostras de argamassas e pastas: corte do corpo de prova prismático das argamassas com auxílio de serra-fita; embutimento com resina epóxi de baixa viscosidade (resina epóxi SQ2004 e endurecedor SQ3154-BB) necessária para rápida obtenção de vácuo no

microscópio; lixamento com as lixas n<sup>o</sup> 200, 400 e 600 de grãos cerâmicos abrasivos; polimento com utilização de alumina e água em equipamento contendo pano de polimento; colocação em dessecador à vácuo por 72 horas; recobrimento com material condutor (ouro) e colocação no microscópio eletrônico de varredura, conforme Figura 31. As amostras (em pó) do RCMG e do fíler calcário foram embutidas em ouro e analisadas no MEV para conhecimento das características morfológicas dos materiais.

Figura 31 - Amostras embutidas em ouro (a); Microscópio Eletrônico de Varredura (b).



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados referentes à caracterização dos materiais, dosagem das argamassas, ensaios realizados no estado fresco e endurecido.

### 4.1 ETAPA 01: CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E DESENVOLVIMENTO DE DOSAGEM DE ARGAMASSAS

Na dosagem de argamassas foram utilizados: areia fina, cimento Portland CP II – Z32, resíduos do corte de mármore e granitos, aditivo superplastificante policarboxilato, aditivo modificador de viscosidade, fíler calcário e fibras sintéticas.

#### 4.1.1 Agregado miúdo

O agregado miúdo (areia natural de cava) utilizado na produção das argamassas possui módulo de finura de 1,24 e dimensão máxima dos grãos de 1,18mm; segundo a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003) é classificado como fino. Este tamanho de partícula corrobora com um estudo, cujo uso de areias naturais de rio com granulometria de 0 a 1 mm, se comparados com areias naturais e artificiais de granulometria de 0 a 3 mm, apresenta melhores resultados em argamassas autonivelantes, em relação ao adensamento, à resistência à compressão, à propagação de pulso e à absorção de água e capilaridade (CANBAZ, TOPÇU e ATESIN, 2016).

As características físicas do agregado miúdo estão indicadas nas tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Caracterização do material

Caracterização do Agregado Miúdo				
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	Torrões de argila (%)	Material pulverulento (%)	Impureza orgânica em p.p.m	Massa unitária seca (Kg/dm <sup>3</sup> )
2,57	0,0	1,7	< 300	1,46
NBR 9776	NBR 7218	NBR 7219	NBR 7220	NBR 7251

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

A areia apresenta como característica a massa específica de  $2,57 \text{ g/cm}^3$ , segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009), e a massa unitária aparente de  $1,46 \text{ g/cm}^3$ , de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Tabela 15 - Ensaio de granulometria da areia

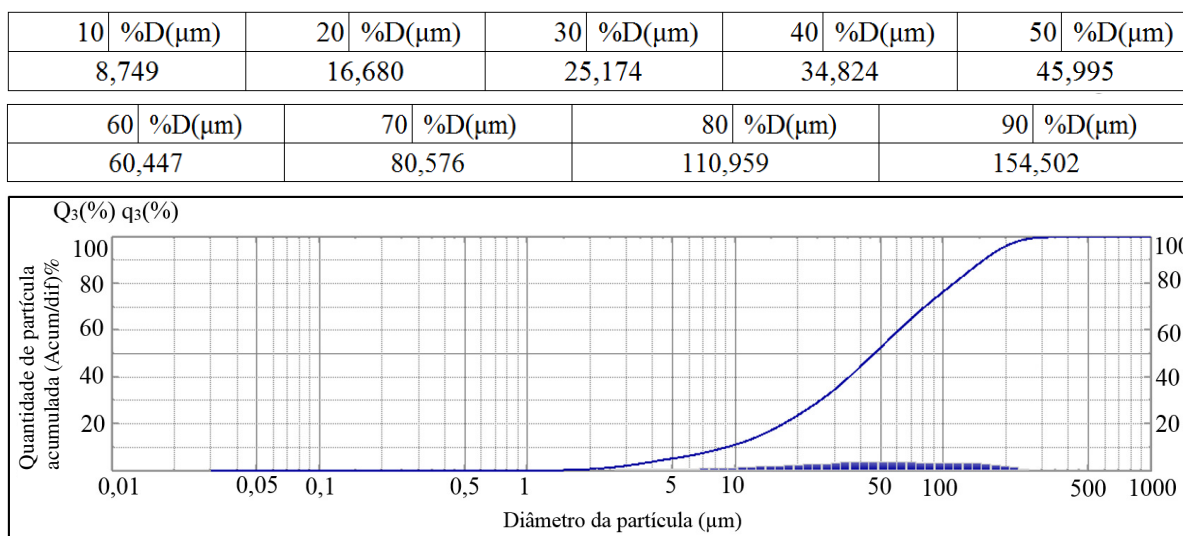
Granulometria do Agregado miúdo - NBR NM 248:2003							
Abertura da malha das peneiras (mm)	a) massa inicial seca (gramas) =		300,0		(Vr)	(Mrm)	(Mra)
	b) massa inicial seca (gramas) =		300,0		Massa retida	Massa retida	Massa retida
	Mrg) Massa retida (gr)		Mr%) Massa retida (%)		Variações	média	acumulada
	Ensaio a	Ensaio b	Ensaio a	Ensaio b	$\pm 4 \%$	(%)	(%)
9,5	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
6,3	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4,75	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2,36	0,0	0,0	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
1,18	1,3	1,2	0,4%	0,4%	0,0%	0,4%	0,4%
0,6	28,9	31,6	9,6%	10,5%	0,9%	10,1%	10,5%
0,3	88,3	90,9	29,4%	30,3%	0,9%	29,9%	40,4%
0,15	97,5	97,1	32,5%	32,4%	0,1%	32,4%	72,8%
Fundo	84,0	79,2	28,0%	26,4%	1,6%	27,2%	100,0%
Mt) Total	300,0	300,0	Módulo de Finura =				1,24

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

#### 4.1.2 Resíduo do corte de Mármore e Granitos

A massa específica do Resíduo do Corte de Mármore e Granitos foi de  $2,81 \text{ g/cm}^3$ , obtida por picnometria com gás Hélio. Em seu estudo Gonçalves (2000) obteve o valor de  $2,78 \text{ g/cm}^3$  para massa específica do seu RCMG enquanto Moura e Gonçalves (2002) obtiveram o valor de  $2,84 \text{ g/cm}^3$ , valores próximos ao obtido neste estudo. O RCMG, quanto à granulometria, possui tamanho médio dos grãos de  $45,98 \mu\text{m}$  (D50%), diâmetro máximo dos grãos de  $153,81 \mu\text{m}$  (D90%), e 67,17% passante na peneira  $74 \mu\text{m}$ , caracterizando-se como material pulverulento. De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005), material pulverulento é definido como um material fino que passa através da peneira  $75 \mu\text{m}$  por lavagem. Conforme a Figura 32, o resíduo apresenta constância na distribuição granulométrica.

Figura 32 - Distribuição granulométrica do RCMG



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Foi realizado ensaio de análise química por FRX, os resultados encontrados para o RCMG estão descritos na Tabela 16 e foram comparados com demais autores.

O resíduo é constituído predominantemente por sílica ( $\text{SiO}_2$ ) e alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), além do óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e do óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) – em destaque na Tabela 16, provenientes da granalha de aço e da cal presentes na lama abrasiva (REIS; TRISTÃO, 2007).

Tabela 16 - Análise química por FRX

Teor de Óxido (%)	Moura, Gonçalves e Leite (2002)	Gonçalves, Moura e Molin (2002)	Neves <i>et al.</i> (1999)	Mittri <i>et al.</i> (2018)	Silva, Severo e Bezerra (2015)	Matta <i>et al.</i> (2013)	A autora
$\text{SiO}_2$	41,70	59,62	68,88	66,82	49,39	37,60	40,46
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	4,30	9,49	3,59	3,79	12,47	4,89	10,83
$\text{Al}_2\text{O}_3$	8,5	12,77	15,98	13,50	18,52	9,04	15,52
$\text{CaO}$	21,00	4,83	1,54	3,44	6,33	17,70	13,18
$\text{MgO}$	2,00	1,96	-	0,93	4,11	8,21	-
$\text{N}_2\text{O}$	-	-	2,42	-	-	-	-
$\text{K}_2\text{O}$	2,30	5,30	4,82	3,83	3,40	2,5	4,57
$\text{Na}_2\text{O}$	2,70	2,72	-	-	2,60	1,79	-
$\text{TiO}_2$	0,29	-	-	0,16	1,96	0,78	2,39
Outros	0,41	3,31	2,77	7,53	1,22	0,20	2,23
Perda ao fogo	16,80	-	-	3,5	-	17,29	10,82

Fonte: Adaptado pela autora

Os resíduos ricos em óxidos fundentes ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O}$ ) são normalmente originados através dos processos de levigação, polimento ou granalha. O óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) são oriundos da cal utilizada como lubrificante e da granalha como agente abrasivo no processo de beneficiamento (SANTOS; DESTEFANI; HOLANDA, 2013).

A presença da sílica pode estar relacionada a diversas origens como, por exemplo, aos feldspatos, minerais micáceos como a biotita e a mica muscovita, e a sílica livre presente em rochas silicáticas (DANA, 1978).

O índice de desempenho do resíduo quanto a atividade pozolânica aos 28 dias de cura foi determinado através da resistência à compressão das seguintes argamassas: argamassa “A” contendo apenas cimento e areia proveniente do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e argamassa “B” contendo 25% de substituição em massa de cimento por RCMG. Os resultados para a resistência à compressão estão especificados na Tabela 17.

Tabela 17 - Resistência à compressão argamassas

Argamassa	Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)
Traço A	$36,25 \pm 2,56$
Traço B (25%)	$23,79 \pm 4,84$

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

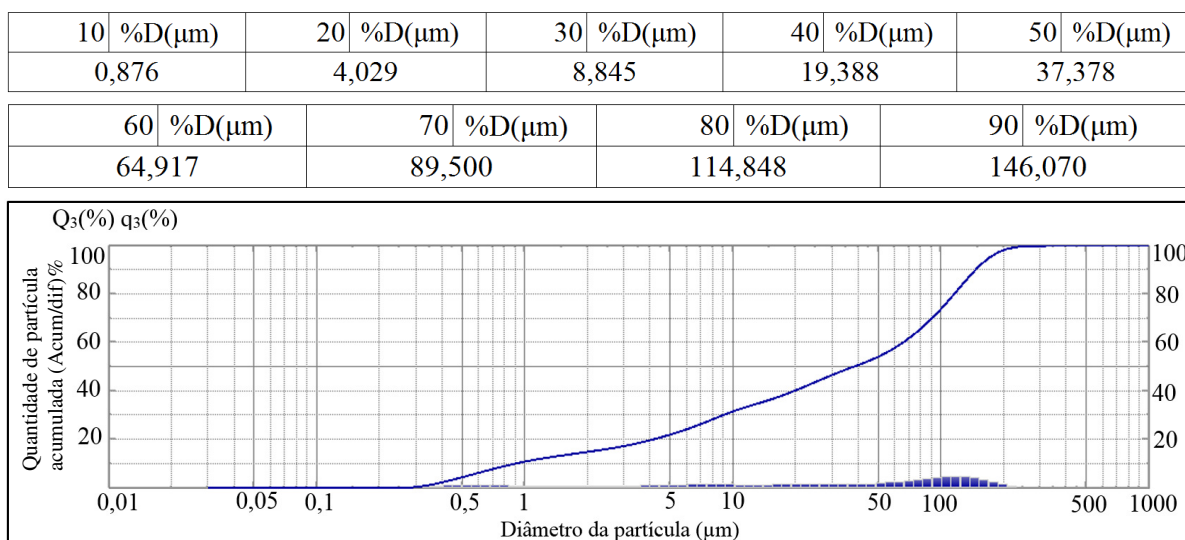
A partir dos resultados obtidos, o índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias para o RCMG foi de 65,6 %. A NBR 12653 (ABNT, 2014) estabelece que o índice mínimo para atividade pozolânica seja de 90,0 %. Assim, conclui-se que apesar do resíduo apresentar composição química que indica uma possível atividade pozolânica, o requisito mínimo de 90,0% não foi atendido, classificando o material como não pozolânico.

#### 4.1.3 Fíler calcário

O fíler calcário foi utilizado para comparação dos resultados dos ensaios nos estados fresco e endurecido com os valores obtidos para as argamassas com RCMG, tendo em vista o uso do material nas formulações citadas no referencial teórico deste trabalho. O material, quanto à granulometria, possui tamanho médio dos grãos de  $37,38 \mu\text{m}$  (D50%), diâmetro máximo dos

grãos de 146,07  $\mu\text{m}$  (D90%), e 63,54% passante na peneira 74  $\mu\text{m}$ , caracterizando-se como material pulverulento. O diâmetro médio dos grãos é 18,70% menor do que o RCMG, a Figura 33 apresenta a distribuição granulométrica do fíler calcário.

Figura 33 - Granulometria do fíler calcário



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

#### 4.1.4 Desenvolvimento de dosagem de argamassas

Foram desenvolvidas misturas variando as proporções dos materiais em relação à massa de cimento, paralelamente foi ensaiada uma argamassa comercial, ensacada, na proporção em massa de 1:0,2 (materiais secos:água). Para validação das argamassas foram analisados os parâmetros de resistência à segregação e diâmetro mínimo de espalhamento ( $D_{\text{mín}}$ ) de 125mm, as dosagens em destaque na Tabela 18 foram utilizadas para realização dos demais ensaios nos estados fresco e endurecido.

Tabela 18 - Dosagem de argamassas elaboradas

Dosagem	Proporção dos Materiais						Presença de Segregação	Dmín (mm)
T	C	A	R	W/C	SP	V		
T1	1	3,0	-	0,70	3,00%	0,50%	Sim	≥125
T2	1	2,0	-	0,50	1,00%	1,00%	Sim	≥125
T3	1	1,5	-	0,50	1,00%	1,00%	Sim	≥125
T4	1	1,0	-	0,50	0,40%	1,00%	Sim	≥125
T5	1	1,5	-	0,40	0,40%	1,00%	Sim	≥125
T6	1	1,5	-	0,30	0,40%	1,00%	Não	115
T7	1	1,5	-	0,30	0,80%	1,00%	Sim	≥125
T8	1	1,5	-	0,37	0,50%	1,00%	Sim	122
T9	1	1,5	0,5	0,45	0,50%	1,00%	Não	110
T10	1	1,0	-	0,33	0,33%	0,67%	Não	125
T11 (50%)	1	1,5	0,5	0,55	0,50%	1,00%	Não	133
T12 (40%)	1	1,5	0,4	0,50	0,50%	1,00%	Não	140
TCOMERCIAL	Formulado na proporção 1 : 0,2 (materias secos : água); 3400 g de argamassa para 690 gramas de água						Não	135

Legenda: Dmín: (Quando submetido ao ensaio de espalhamento); C – Cimento; A – Areia; R – Resíduo; W – Água (water);  
SP – Superplastificante; V – Modificador de Viscosidade.

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

As primeiras dosagens (T1, T2 e T3) apresentaram segregação, possivelmente devido à alta concentração de aditivo superplastificante e da proporção dos materiais, não havendo quantidade ideal de finos para a argamassa se espalhar por ação da gravidade. Como alternativa para solucionar o problema, o teor de aditivo foi reduzido de 1,0% para 0,4% em relação a massa de cimento (T4) e o consumo de cimento aumentou (proporcionando mais material fino na dosagem), no entanto o problema de segregação não foi solucionado. A segunda alternativa foi reduzir o fator água-cimento até melhorar o problema de segregação (T5 e T6). A dosagem T5 ainda apresentou segregação, no entanto a dosagem T6 se mostrou coesa e homogênea, sem segregar, em contrapartida a argamassa T6 não atingiu o diâmetro de espalhamento mínimo de 125 mm.

Na dosagem T7 a quantidade de aditivo superplastificante foi duplicada (de 0,4% na dosagem T6 para 0,8%), sem modificar nenhuma outra propriedade em relação à argamassa T6, a argamassa atingiu o diâmetro mínimo de espalhamento, no entanto segregou,

comprovando a relação entre altas dosagens de aditivo e a presença de segregação na argamassa.

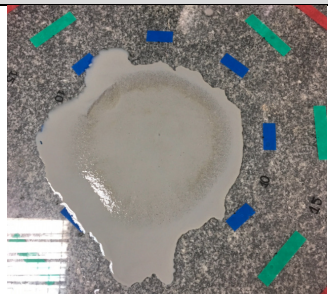
Com a finalidade de ajustar os parâmetros da argamassa T6 até que ela atinja o Dmín sem segregar, foi aumentado o fator água/cimento (de 0,3 para 0,37) e a proporção de aditivo superplastificante (de 0,4% para 0,5%), resultando na argamassa T8, a qual não atingiu o Dmín de espalhamento e segregou.

Para solucionar parte do problema de segregação, o RCMG foi incorporado à dosagem. O material por possuir uma granulometria que o caracteriza como fino absorveu parte da água em excesso. Ajustando-se o fator água/cimento, estabelecendo-se o teor de aditivo superplastificante em 0,5% e mantendo o teor de aditivo modificador de viscosidade em 1,0%, foram elaborados as misturas T9 e T11. Na mistura T12 reduziu-se a quantidade de RCMG de 0,5% para 0,4% em relação à massa de cimento.

A dosagem T10 foi elaborada sem o RCMG. Para se obter tal argamassa, a dosagem inicial dos materiais foi a mesma utilizada para se obter a dosagem T11, no entanto ao invés de adicionar o RCMG, foi acrescentado a mesma quantidade em cimento. Como as proporções dos materiais variam em função da massa de cimento, a dosagem T10 ficou com o traço de 1: 1: 0,33: 0,0033: 0,067 (C: A: W: SP: V).

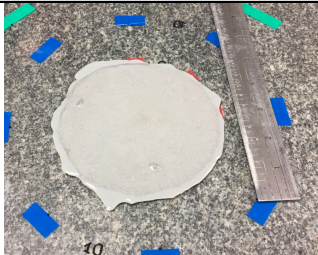

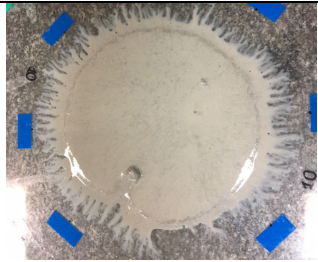



A Tabela 19 apresenta um resumo das principais características das misturas estudadas. As dosagens elaboradas com o RCMG obtiveram bons resultados quanto ao Dmín de espalhamento e a resistência à segregação. A partir das observações durante o desenvolvimento das dosagens constatou-se que a adição de finos, aditivos superplastificante e modificador de viscosidade são fundamentais para o espalhamento da argamassa, de forma coesa e homogênea, eliminando o problema de segregação.

Tabela 19 - Resumo das principais características das misturas estudadas (continua)

Proporção dos Materiais	Imagens do ensaio de espalhamento
<p>T3</p> <p>C: A: W: SP: V</p> <p>1: 1,5: 0,5: 0,001: 0,01</p> <p>Nesta dosagem a quantidade de areia, água e de aditivo SP foi reduzida, porém ainda ocorreu segregação da argamassa.</p>	

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

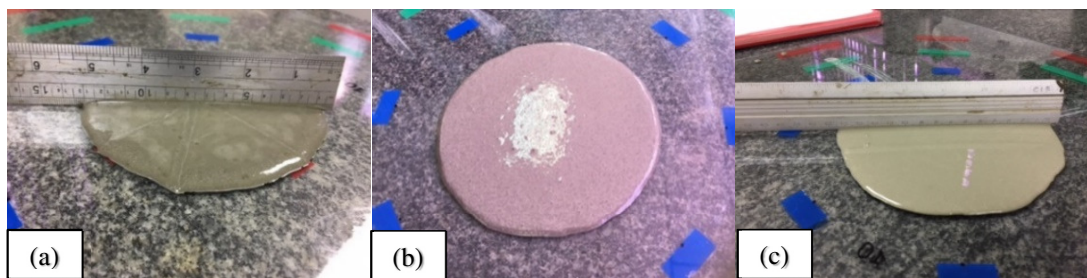
Tabela 19 - Resumo das principais características das misturas estudadas (continuação)

Proporção dos Materiais	Imagens do ensaio de espalhamento
<p>T5 C: A: W: SP: V 1: 1,5: 0,4: 0,004: 0,01</p> <p>A Argamassa ficou mais coesa e apresentou menor segregação. Para diminuir o excesso de água, o fator W/C, na próxima mistura T6, foi reduzido.</p>	
<p>T6 C: A: W: SP: V 1: 1,5: 0,3: 0,004: 0,01</p> <p>Argamassa ficou demasiadamente seca, e não houve fluidez com o Dmín de 125mm.</p>	
<p>T7 C: A: W: SP: V 1: 1,5: 0,3: 0,008: 0,01</p> <p>Nesta mistura, a quantidade de aditivo superplastificante foi aumentada significativamente e foi observada segregação na argamassa.</p>	
<p>T8 C: A: W: SP: V 1: 1,5: 0,37: 0,005: 0,01</p> <p>Nesta mistura, a argamassa apresentou diâmetro de espalhamento de 122 mm e foi observada segregação.</p>	
<p>T9 C: A: R: W: SP: V 1: 1,5: 0,5: 0,45: 0,005: 0,01</p> <p>A Argamassa não apresentou fluidez suficiente, o diâmetro de espalhamento foi inferior à 125 mm. Não houve segregação.</p>	
<p>T10 C: A: W: SP: V 1: 1: 0,33: 0,0033: 0,067</p> <p>Dosagem de argamassa autonivelante sem a presença de resíduos e com características autonivelantes</p>	

Fonte: Elaborado pela autora (2018)

O RCMG quando introduzido na argamassa aumentou a quantidade de finos e proporcionou as características desejadas para autonivelamento; as dosagens T11 (50%), T12 (40%) e TCOMERCIAL, após ensaio de espalhamento, podem ser visualizadas na Figura 34.

Figura 34 - Ensaio de espalhamento: argamassas T11 (50%) (a); T12 (40%) (b); TCOMERCIAL (c)



Fonte: Elaborado pela autora (2018)

O consumo de cimento para a dosagem T11 foi de  $608,77 \text{ Kg/m}^3$ . Sendo que a massa específica do cimento foi de  $3,0 \text{ g/cm}^3$  (fornecido pelo fabricante), da areia foi de  $2,58 \text{ g/cm}^3$  e do resíduo do corte de mármore e granito foi de  $2,81 \text{ g/cm}^3$ .

Hamoy (2017) em seus estudos, obteve um consumo de cimento em torno de  $560 \text{ Kg/m}^3$  e a relação água/cimento em torno de 0,66 para argamassa autonivelante com proporções de cimento: areia de 1 : 2, sem fíler incorporado à mistura. Os valores da exsudação da argamassa foram desprezíveis e isso se deve ao elevado teor de consumo de cimento, consequentemente elevado teor de finos e o emprego de aditivo espessante hidroxietilcelulose, os quais contribuem para a coesão do material levando a exsudação a ser praticamente nula. A dosagem de argamassa autonivelante mencionada obteve uma resistência à compressão de 3,9 MPa em 24 horas e 27 MPa aos 28 dias.

Freital *et al* (2010) obteve um consumo de cimento de  $928,026 \text{ Kg/m}^3$  e a relação água/cimento de 0,415 para uma dosagem de argamassa autonivelante com as proporções de cimento: areia de 1 : 0,89, sem adições minerais. O traço realizado com adição de metacaulim obteve um consumo de cimento de  $862,47 \text{ Kg/m}^3$  para uma dosagem com as proporções de cimento: areia: metacaulim de 1 : 0,99 : 0,11.

A partir da dosagem T11 (50%) foram realizados ensaios adicionais com fibras sintéticas, fíler calcário e substituindo o cimento CP II – Z32 pelo cimento de alta resistência inicial CP V – ARI. As dosagens foram denominadas como:

T11 ARI – Dosagem T11 (50%) com substituição do cimento CP II – Z32 pelo cimento de alta resistência inicial CP V-ARI-RS. A argamassa foi elaborada para verificar

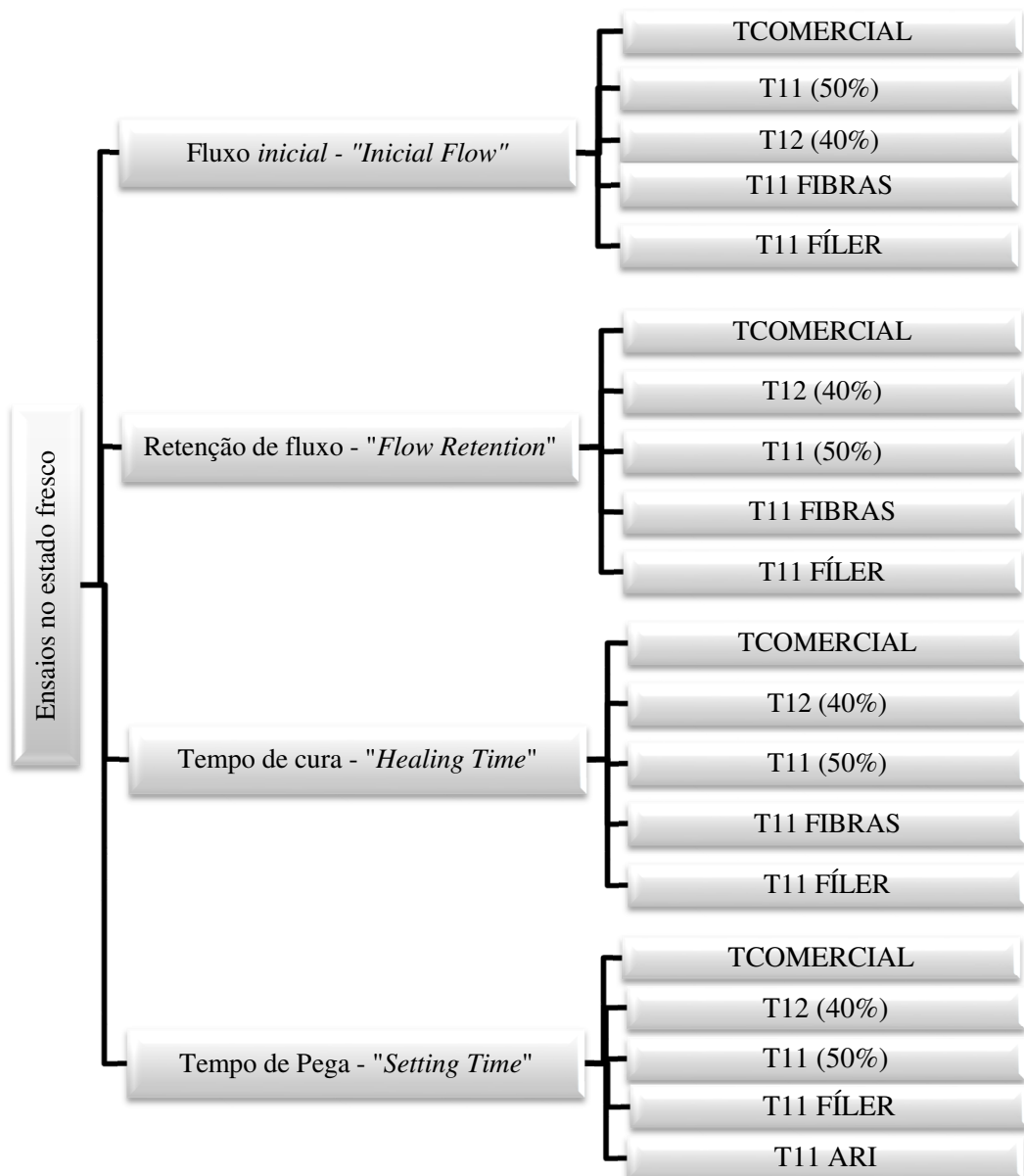
T11 FIBRA – Dosagem T11 (50%) com adição de fibras sintéticas de polipropileno na proporção de 4g de fibra para cada Kg de cimento;

T11 FÍLER – Dosagem T11 (50%) com adição de fíler calcário substituindo o RCMG;

#### 4.2 ETAPA 02: ENSAIOS REALIZADOS NOS ESTADOS FRESCO E ENDURECIDO

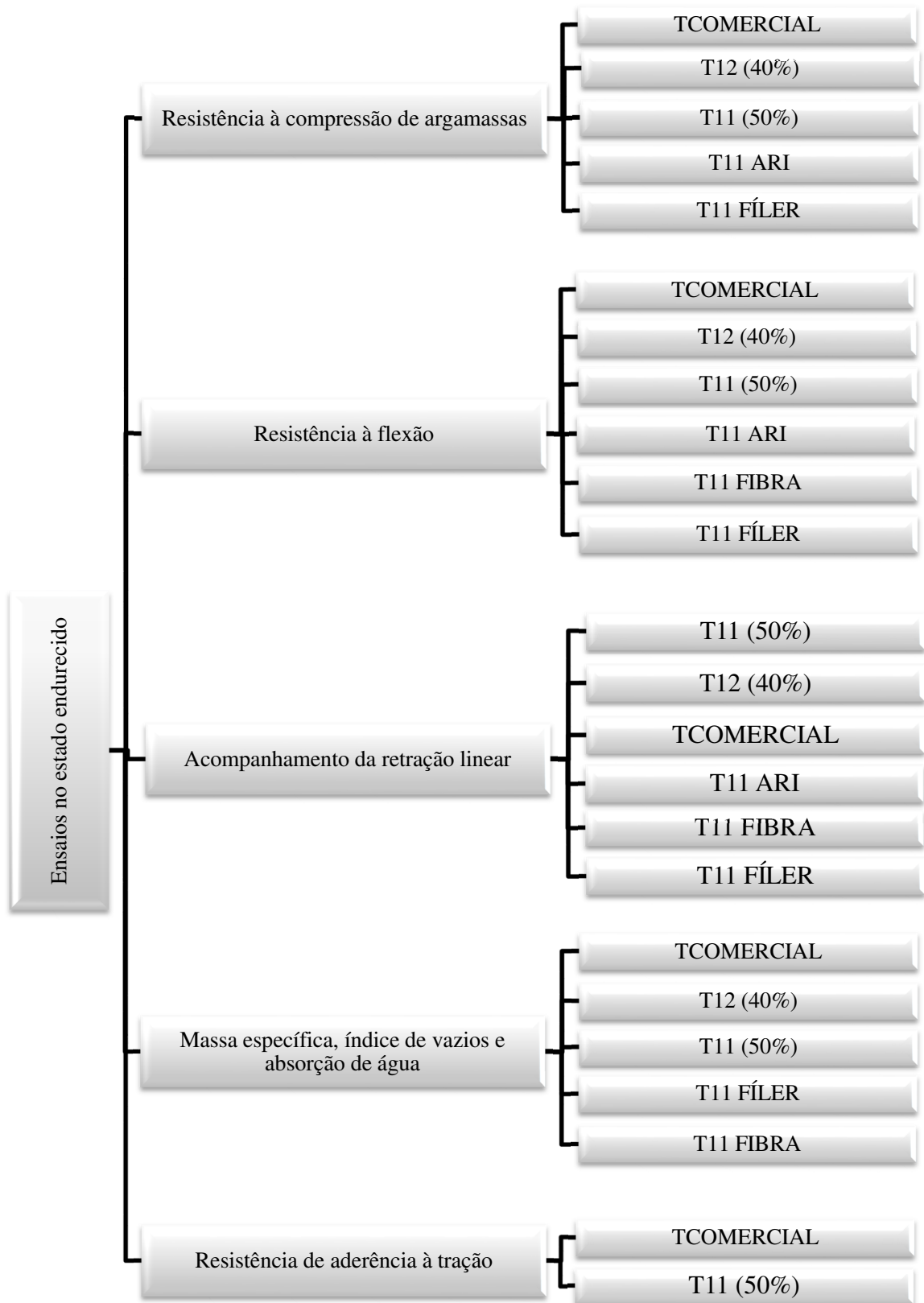
Os ensaios no estado fresco e endurecido foram realizados nas dosagens listadas nas Figuras 35 e 36.

Figura 35 - Fluxograma das dosagens ensaiadas no estado fresco



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Figura 36 - Fluxograma das dosagens ensaiadas no estado endurecido



#### 4.2.1 Retenção de fluxo - "*flow retention*" e tempo de regeneração – "*healing time*"

As argamassas T11 (50%), T12 (40%), T11 ARI, T11 FIBRA e T11 FILER não apresentaram retenção de fluxo, o diâmetro de espalhamento inicial e após trinta minutos se mantiveram iguais, conforme a Tabela 20. A argamassa comercial, reduziu 20 mm após 20 minutos da mistura inicial e 40 mm após 30 minutos. O tempo de regeneração para todas as dosagens de argamassas foi entre 15 e 20 minutos.

Tabela 20 - Resultados dos ensaios de retenção de fluxo e tempo de regeneração

Argamassa	TCOMERCIAL	T12 (40%)	T11 (50%)	T11 ARI	T11 FIBRA	T11 FILER
Espalhamento Inicial (mm)	135	140	133	135	135	136
Espalhamento 20 min (mm)	115	140	133	135	135	136
Espalhamento 30 min (mm)	95	140	133	135	135	136
Tempo de Regeneração (min)	15 - 20	15 - 20	15 - 20	15 - 20	15 - 20	15 - 20

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

#### 4.2.2 Tempo de Pega "*Setting Time*"

O ensaio de Tempo de Pega foi realizado para as dosagens T11 (50%), T11 ARI, T12 (40%), T11 FILER e TCOMERCIAL, conforme a Tabela 21.

Tabela 21 - Tempo de Pega para as argamassas testadas

Argamassa	Tempo de Início de pega (h:min)	Tempo de Fim de pega (h:min)	Diferença (h:min)
T11 (50%)	11:20	12:20	01:00
T11 ARI	11:33	12:23	00:50
T12 (40%)	05:54	06:26	00:32
T11 FILER	06:20	07:55	01:35
TCOMERCIAL	01:40	02:06	00:26

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Tendo em vista os resultados obtidos, foram realizadas algumas considerações:

- O tempo de pega das argamassas formuladas foi, pelo menos, 3x maior do que a argamassa TCOMERCIAL ensaiada;
- A substituição do cimento CP II-Z32 utilizado na dosagem T11 (50%) pelo cimento CP V-ARI-RS utilizado na argamassa T11 ARI não diminuiu o tempo de pega;
- A argamassa T12 (40%) obteve um tempo de início de pega 47,86% menor, comparado com a argamassa T11 (50%) e tempo de fim de pega 48,46% menor. Tal diferença está relacionada com o fator água/cimento da dosagem T12 (40%) que é menor em relação às outras argamassas e pode estar relacionada com a menor quantidade de RCMG presente no traço;
- A incorporação de fíler calcário (T11 FÍLER) em substituição ao RCMG (T11 (50%)) diminuiu o tempo de início de pega em 44,12% e o fim de pega em 35,81%.

Os ensaios foram realizados ao mesmo tempo, nas mesmas condições de temperatura e umidade, conforme Figura 37.

Figura 37 - Ensaio de Tempo de Pega com Aparato de Vicat



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

### 4.2.3 Resistência à compressão

Para os ensaios de resistência à compressão das argamassas foram elaborados nove corpos de prova cilíndricos 50 x 100 mm para cada uma das dosagens: TCOMERCIAL, T12 (40%), T11 (50%), T11 ARI e T11 FÍLER, sendo ensaiados três corpos de prova para cada idade, com 1, 7 e 28 dias de idade (Tabela 22).

Tabela 22 - Resultados de resistência à compressão das argamassas estudadas

Argamassa	Resistência à compressão (MPa)			Proporção dos materiais
	1 dia	7 dias	28 dias	C: A: F: W: SP: V
T COMERCIAL	10,25 ± 0,06	18,06 ± 0,02	27,17 ± 1,57	Não fornecido pelo fabricante
T12 (40%)	12,24 ± 0,35	27,52 ± 0,61	36,34 ± 1,66	1: 1,5: 0,4: 0,5: 0,005: 0,01
T11 (50%)	8,34 ± 1,11	24,18 ± 1,50	32,47 ± 1,51	1: 1,5: 0,5: 0,55: 0,005: 0,01
T11 ARI	16,48 ± 0,17	33,13 ± 2,40	38,89 ± 2,10	T 11 (50%) com cimento CPV-ARI
T11 FÍLER	8,67 ± 0,12	28,34 ± 0,15	35,08 ± 5,15	1: 1,5: 0,5: 0,55: 0,005: 0,01

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Para os resultados de resistência à compressão obtidos com as 05 dosagens, o traço T11 ARI (50% de RCMG e CP V-ARI-RS) apresentou valores superiores aos 1, 7 e 28 dias, se comparados com as demais argamassas elaboradas (Figura 38).

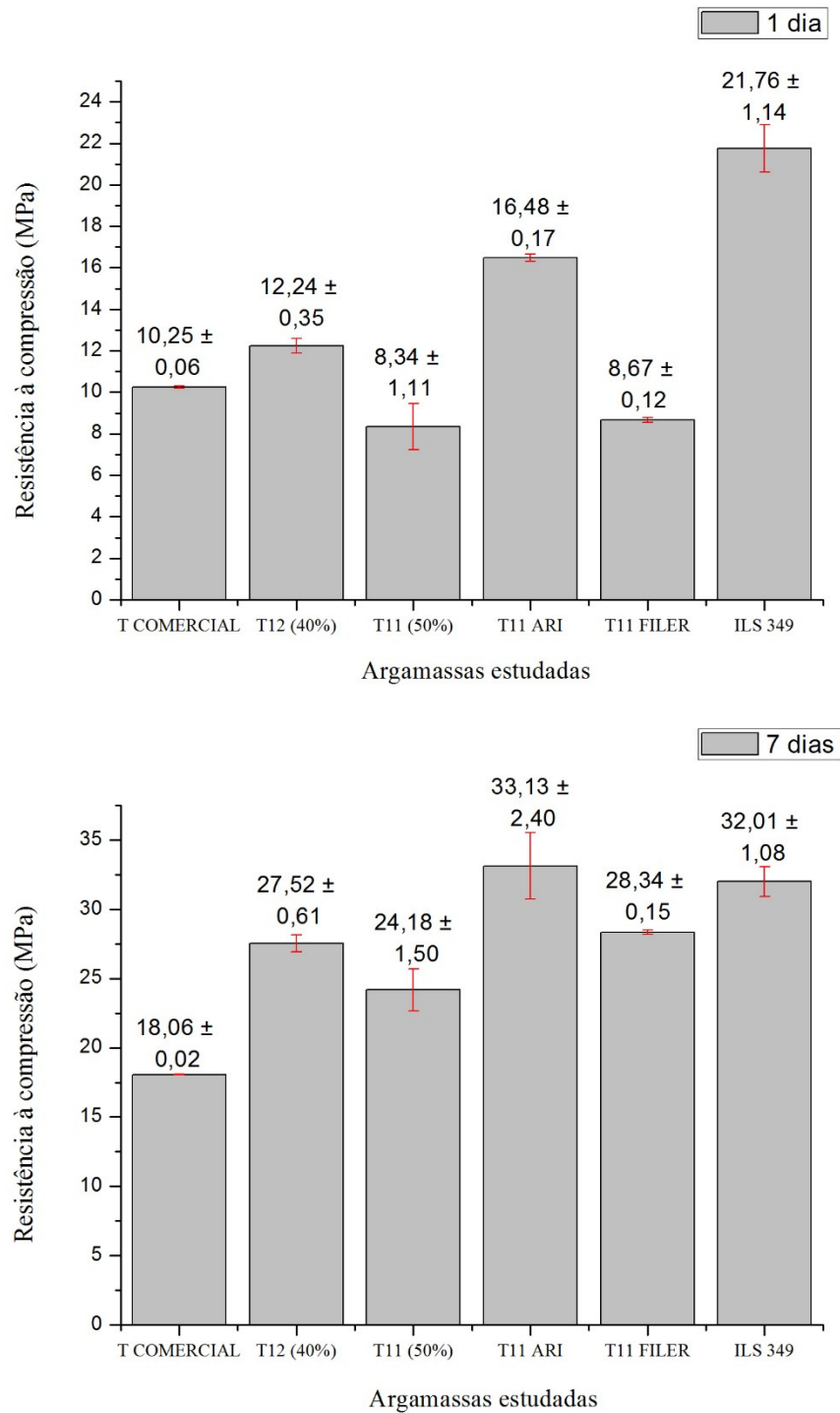
Para fins de comparação e análise dos dados obtidos com as argamassas autonivelantes testadas, a norma C1708 (ASTM, 2016) divulgou uma série de estudos interlaboratoriais.

O estudo interlaboratorial “ILS N°. 349” da norma C1708 (ASTM, 2016) apresentou resultados de ensaios realizados com 07 dosagens de argamassas comerciais autonivelantes, com 05 réplicas, nas datas de 1, 7 e 28 dias. A resistência à compressão média registrada pela ILS N°. 349 em 1 dia foi de 21,76 ± 1,14 MPa, sendo esta 24,26% maior que a resistência média obtida na mistura T11 ARI deste estudo. Aos 7 dias a resistência obtida no ILS foi de 32,01 ± 1,08 MPa, 3,5% menor que a mistura T11 ARI. Aos 28 dias a resistência média foi de 39,15 ± 0,86 MPa, 0,66% superior a mesma mistura.

Para os 7 dias, considerando as amostras independentes e paramétricas, com um intervalo de confiança de 95%, a amostra T11 ARI não se mostra diferente dos resultados

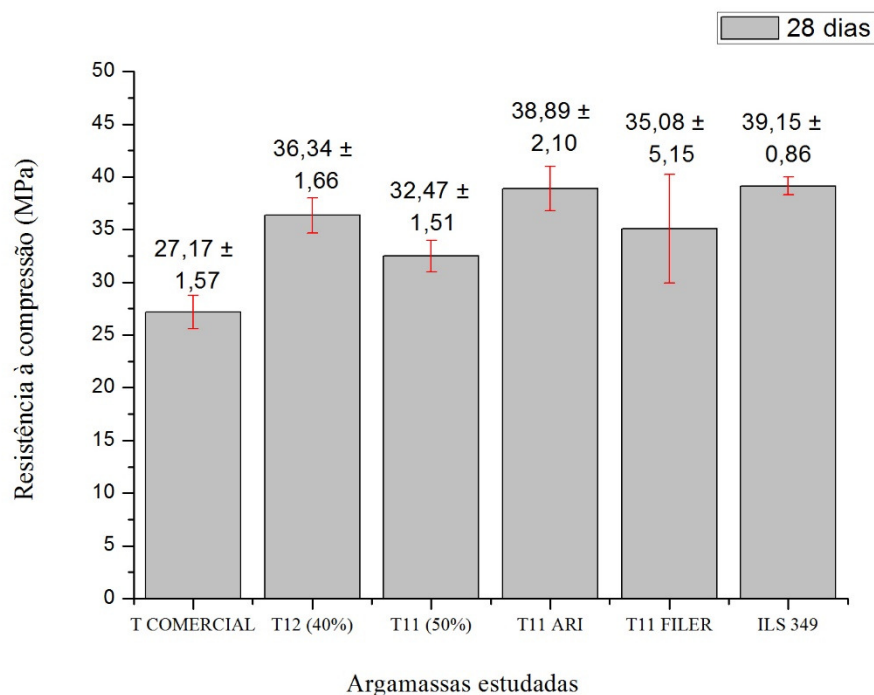
obtidos na ILS (p-valor = 0,5040). Para os 28 dias, aplicando o mesmo teste, as amostras também foram consideradas iguais (p-valor = 0,8497).

Figura 38 - Resultados de resistência à compressão das argamassas estudadas com 1, 7 e 28 dias (continua)



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Figura 38 - Resultados de resistência à compressão das argamassas estudadas com 1, 7 e 28 dias (continuação)



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A dosagem T12 (40%) apresentou melhores resultados de resistência à compressão nos 1, 7 e 28 dias se comparados com a argamassa T11 (50%). O aumento da quantidade de RCMG e do fator água/cimento diminui em 31,86% a resistência com 1 dia, 12,14% aos 7 dias e 10,65% aos 28 dias. O RCMG é caracterizado como inerte, sem atividade pozolânica, reduzindo os valores de resistência à compressão quando adicionado de 40% para 50% da massa de cimento nas dosagens de argamassas.

A argamassa TCOMERCIAL apresentou os menores valores de resistência à compressão com 7 e 28 dias, em relação às demais argamassas estudadas. No entanto, com 1 dia o ganho de resistência foi 22,9% maior do que a dosagem T11 (50%) e 18,22% superior à T11 FÍLER.

A adição de fíler calcário (T11 FÍLER) aumentou a resistência à compressão em todas as idades analisadas, em comparação com a dosagem T11 (50%), a qual possui adição de RCMG nas mesmas proporções, em 1 dia aumentou 3,96%, em 7 dias 17,20% e em 28 dias 8,04%.

#### 4.2.4 Resistência à tração na flexão

Para os ensaios de resistência à tração das argamassas foram elaborados seis corpos de prova prismáticos 40 x 40 x 160 mm para cada dosagem, sendo ensaiados três corpos de prova com 3 dias e três corpos de prova com 28 dias de idade. As argamassas ensaiadas foram: TCOMERCIAL, T12 (40%), T11 (50%), T11 ARI, T11 FIBRA e T11 FÍLER, os resultados estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 - Resultados de resistência à tração das argamassas estudadas

Argamassa	Resistência à tração (MPa)		Proporção dos materiais
	3 dias	28 dias	C: A: F: W: SP: V
T COMERCIAL	7,12 ± 0,01	13,87 ± 0,87	Não fornecido pelo fabricante
T12 (40%)	5,55 ± 0,80	10,50 ± 0,35	1: 1,5: 0,4: 0,5: 0,005: 0,01
T11 (50%)	5,37 ± 0,43	7,37 ± 0,43	1: 1,5: 0,5: 0,5: 0,005: 0,01
T11 ARI	7,00 ± 0,78	10,37 ± 0,43	T 11 (50%) com cimento CPV-ARI
T11 FIBRA	5,12 ± 0,22	6,00 ± 0,75	T 11 (50%) com adição fibra
T11 FÍLER	8,87 ± 0,43	10,75 ± 0,57	T 11 (50%) com adição de filer calcário

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Para análise dos resultados as amostras foram consideradas pequenas, independentes e não paramétricas (observado após teste de Shapiro-Wilk). As amostras foram comparadas entre si através do teste de Kruskal-Wallis e analisadas duas-a-duas através do teste de Dunn, para concluir se os parâmetros modificados entre as dosagens alteraram os valores de resistência.

Verifica-se através do teste de Kruskal-Wallis que as resistências à tração aos 03 dias são consideradas diferentes (p-valor = 0,0124), assim como aos 28 dias (p-valor = 0,0109) comparando todas as dosagens de argamassas com um nível de significância de 95%.

Ao analisar a influência da fibra na dosagem T11 (50%), estatisticamente não é observada diferença nos valores de resistência à tração na flexão aos 03 dias (p-valor = 0,7593) e aos 28 dias (p-valor = 0,4906). A presença de fibra, nas proporções de 4 gramas de fibra para cada Kg de cimento (dosagem T11 FIBRA), não aumenta a resistência da argamassa nesse parâmetro, no entanto ao observar a Figura 39, verifica-se que a argamassa, apesar de apresentar uma ruptura, mantém-se unida pelas fibras incorporadas, sem desprender-se.

Figura 39 - Fibras no corpo de prova de argamassa



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A dosagem T12 (40%) não apresentou vantagens quanto a resistência à tração aos 03 dias, apresentou uma resistência média considerada estatisticamente igual a resistência da mistura T11 (50%), (p-valor = 0,8482). No entanto, para os ensaios realizados aos 28 dias, a dosagem T12 (40%) apresentou uma resistência 42,47% superior à mistura T11 (50%).

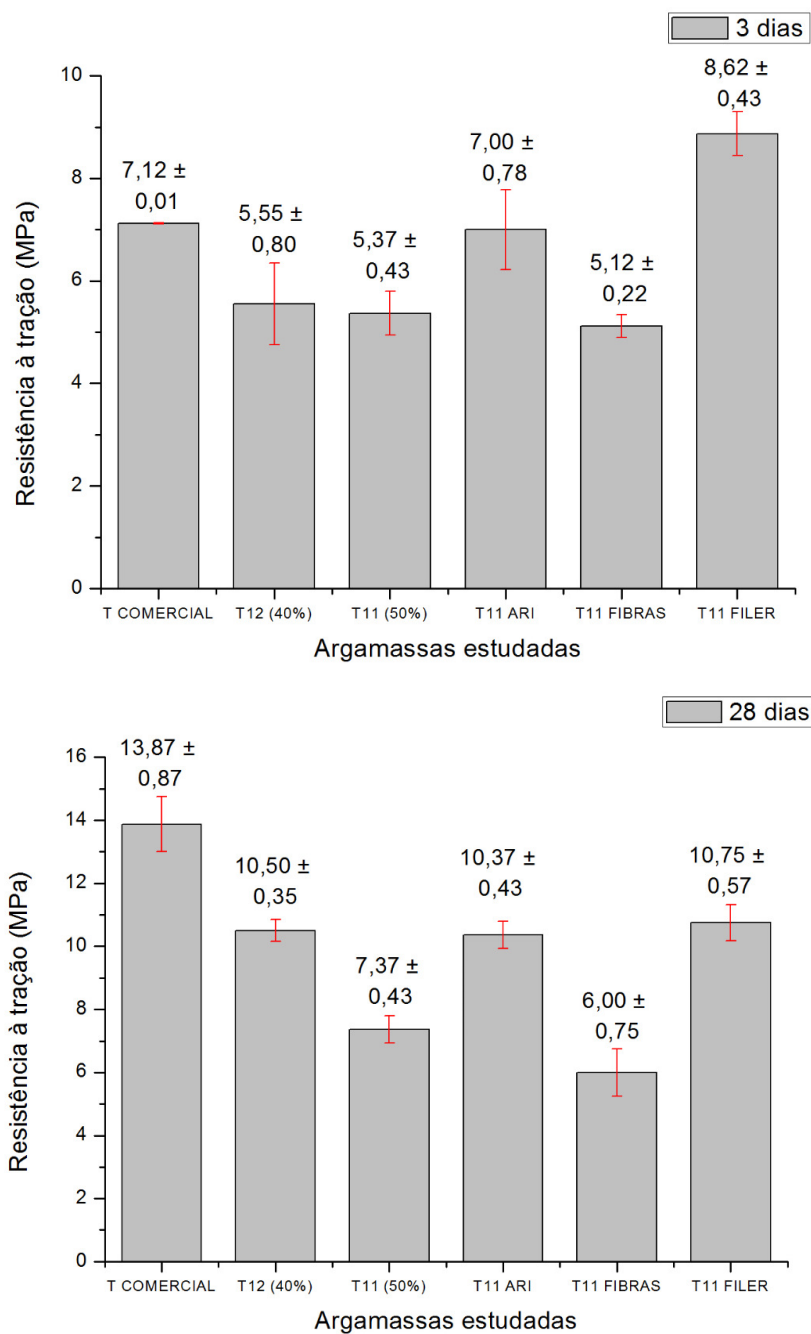
Comparando as argamassas T11 ARI e T11 (50%), verifica-se que a substituição do cimento CP II-Z32 pelo cimento CP V-ARI-RS aumentou a resistência à tração em 30,35% aos 03 dias e 40,71% aos 28 dias, sendo eficiente no parâmetro analisado.

A substituição do RCMG por fíler calcário, resultando na mistura (T11 FÍLER), aumentou a resistência à tração em 65,17% aos 3 dias e 45,86% em 28 dias, em comparação com a dosagem T11 (50%), desta forma conclui-se que a adição de fíler calcário melhora a propriedade testada em ambas as idades ensaiadas.

A mistura TCOMERCIAL, aos 3 dias de idade, estatisticamente obteve uma resistência igual à mistura T11 ARI (p-valor = 0,877), no entanto aos 28 dias foi 33,75% maior.

A Figura 40 compara os resultados de resistência à tração na flexão para as argamassas testadas.

Figura 40 - Resistência à tração na flexão das argamassas aos 3 e 28 dias



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

#### 4.2.5 Retração Linear

O ensaio de retração linear foi realizado para todas as dosagens formuladas em laboratório e para argamassa comercial, conforme a Tabela 24.

Tabela 24 - Resultados do ensaio de retração linear

Argamassa	Retração (mm/m)				
	3 dias	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
T11 FÍLER	0,211 ± 0,048	0,307 ± 0,067	0,425 ± 0,091	0,588 ± 0,080	0,643 ± 0,065
T11 FIBRA	0,080 ± 0,074	0,278 ± 0,025	0,580 ± 0,119	0,708 ± 0,102	0,734 ± 0,105
T12 (40%)	0,384 ± 0,090	0,531 ± 0,044	0,683 ± 0,125	0,728 ± 0,081	0,783 ± 0,013
T11 ARI	0,178 ± 0,072	0,305 ± 0,088	0,502 ± 0,152	0,801 ± 0,178	0,917 ± 0,203
T11 (50%)	0,255 ± 0,014	0,724 ± 0,034	0,748 ± 0,062	0,994 ± 0,031	1,054 ± 0,008
TCOMERCIAL	0,182 ± 0,042	0,530 ± 0,182	1,308 ± 0,076	1,678 ± 0,146	1,956 ± 0,056

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

O cimento CP V-ARI-RS utilizado na dosagem T11 ARI não aumentou a retração linear das argamassas ao longo do tempo, em comparação à mistura T11 (50%) em que foi utilizado o cimento CP II-Z32.

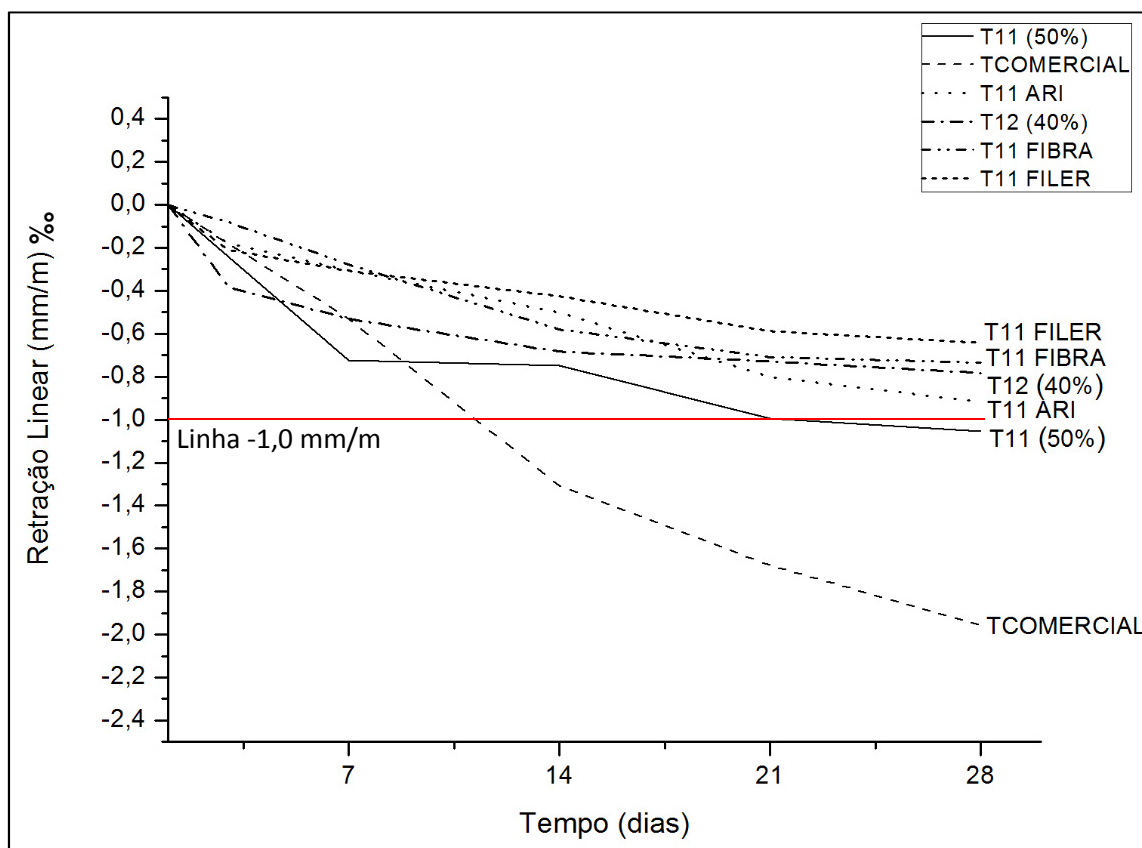
A utilização de fíler calcário na dosagem (T11 FÍLER) reduziu a retração linear em todas as idades, em comparação à mistura (T11 (50%)), proporcionando uma redução de 38,99% aos 28 dias.

A argamassa T12 (40%) obteve a maior retração aos três dias de idade, retraiu 50,59% a mais do que a dosagem T11 (50%) nesta idade.

Comparando todas as argamassas elaboradas, aos 7 dias de idade a dosagem T11 (50%) apresentou maior retração linear (-0,724 mm/m), no entanto aos 14, 21 e 28 dias a argamassa TCOMERCIAL foi a que obteve maior retração, -1,956 mm/m aos 28 dias, 85,56% maior do que a argamassa T11 (50%). O gráfico da Figura 41 compara os resultados obtidos e exalta a discrepância entre a retração aos 28 dias das argamassas formuladas e da dosagem TCOMERCIAL. Para melhor observação dos resultados, uma linha na marca de -1,0 mm/m foi estabelecida.

A incorporação de fibras de polipropileno na dosagem T11 (50%), resultando na dosagem T11 FIBRA, diminuiu a retração linear em 68,92% aos 7 dias, 42,51% aos 14 dias, 46,48% aos 21 dias e 47,63% aos 28 dias. A eficácia da ação das fibras na redução da retração linear das argamassas foi comprovada em todas as idades ensaiadas.

Figura 41 - Gráfico comparativo de retração linear das argamassas.



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

#### 4.2.6 Massa específica, índice de vazios e absorção de água

As amostras de argamassas TCOMERCIAL, T12 (40%), T11 (50%), T11 FIBRA e T11 FÍLER foram ensaiadas para determinação de absorção de água, índice de vazios e massa específica, os resultados encontram-se na Tabela 25.

As dosagens T12 (40%), T11 (50%) e T11 FÍLER apresentaram valores similares de absorção de água e índice de vazios, variando 0,29% para absorção de água e 0,55% para índice de vazios.

A amostra de argamassa TCOMERCIAL foi a dosagem que apresentou maior absorção de água e índice de vazios entre todas as argamassas testadas, absorveu 23,22% a mais de água em comparação ao traço T11 FÍLER, consequentemente apresentou 18,51% maior quantidade de vazios.

Tabela 25 - Valores de absorção de água, índice de vazios e massa específica para as argamassas testadas.

Argamassa	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )
T COMERCIAL	12,31 ± 0,11	26,31 ± 0,27	2,54 ± 0,01
T12 (40%)	9,70 ± 0,23	21,65 ± 0,52	2,57 ± 0,01
T11 (50%)	9,87 ± 0,27	22,05 ± 0,39	2,58 ± 0,02
T11 FIBRA	11,96 ± 0,00	26,23 ± 0,00	2,62 ± 0,00
T11 FÍLER	9,99 ± 0,41	22,20 ± 1,02	2,67 ± 0,03

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A incorporação de fibras de polipropileno na dosagem T11 (50%), resultando na mistura T11 FIBRAS, aumentou a absorção de água em 21,18% e a quantidade de vazios em 18,96%.

A massa específica variou 0,13 g/cm<sup>3</sup> entre todas as dosagens formuladas, apresentando, desta forma, grande similaridade entre os resultados obtidos.

#### 4.2.7 Resistência de aderência à tração

A aderência é a propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato. A aderência é a interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento que se pretende avaliar (base, preparo da base e revestimento). A resistência de aderência à tração é a tensão máxima suportada por uma área limitada de revestimento (corpo de prova), na interface de avaliação, quando submetido a um esforço normal de tração (SCHACKOW, 2015).

Para o ensaio de resistência de aderência a tração das argamassas, foram testadas as dosagens T11 (50%) e TCOMERCIAL, conforme Tabelas 26 e 27.

Para a determinação da resistência de aderência à tração média das argamassas, os resultados obtidos com ruptura na interface cola-pastilha (E-SC) foram desconsiderados, pois representam problemas de execução do ensaio.

O tipo de ruptura (D-SC) pode ter ocorrido pela má limpeza da superfície da argamassa, por falhas na aplicação da cola na pastilha ou por falta de resistência superficial. Neste trabalho,

foram desconsideradas as rupturas 50% (D-SC) e 50% (E-SC) para o cálculo da resistência média de aderência à tração, pois foram detectadas falhas de colagem das pastilhas e de limpeza da superfície de contato da pastilha na argamassa.

Tabela 26 - Resistência de aderência à tração: Argamassa T11 (50%)

Resistência de aderência à tração: Argamassa T11 (50%)				
nº	Área efetiva mm²	Carga de ruptura (N)	Aderência à tração (MPa)	Forma de ruptura
1	1963,5	1170	0,60	50% (B-SC) e 50% (D-SC)
2		740	0,38	100% (B-SC)
3		220	0,11	50% (D-SC) e 50% (E-SC) - Desconsiderado
4		1360	0,69	50% (B-SC) e 50% (D-SC)
5		250	0,13	50% (D-SC) e 50% (E-SC) - Desconsiderado
6		1050	0,53	50% (B-SC) e 50% (D-SC)
7		1820	0,93	30% (A-SC) e 70% (B-SC)
8		390	0,20	50% (D-SC) e 50% (E-SC) - Desconsiderado
9		1100	0,56	50% (B-SC) e 50% (D-SC)
10		580	0,30	50% (B-SC) e 50% (D-SC)
11		260	0,13	80% (B-SC) e 20% (D-SC)
12		10	0,01	100% (E-SC) - Desconsiderado
Resistência média			0,51 ± 0,25	Umidade da argamassa = 9,62%

Legenda: (A-SC) – Ruptura na interface argamassa-substrato;  
 (B-SC) – Ruptura na argamassa;  
 (C-SC) – Ruptura no substrato;  
 (D-SC) – Ruptura na interface cola-argamassa;  
 (E-SC) – Ruptura na interface cola-pastilha.

Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A argamassa T11 (50%) apresentou resistência de aderência à tração média de  $0,51 \pm 0,25$  MPa, aos 30 dias. A variabilidade dos resultados foi grande, o coeficiente de variação foi de 49,02%.

A dosagem TCOMERCIAL apresentou resistência de aderência à tração média de 0,37  $\pm$  0,14 MPa, aos 30 dias, coeficiente de variação de 37,84%. A resistência foi 27,45% menor do que o valor obtido para o traço T11 (50%).

Tabela 27- Resistência de aderência à tração: Argamassa TCOMERCIAL

Resistência de aderência à tração: Argamassa TCOMERCIAL				
nº	Área efetiva mm²	Carga de ruptura (N)	Aderência à tração (MPa)	Forma de ruptura
1	1963,5	1020	0,52	100% (B-SC)
2		1150	0,59	100% (A-SC)
3		520	0,26	100% (D-SC)
4		590	0,30	100% (A-SC)
5		630	0,32	100% (A-SC)
6		630	0,32	100% (A-SC)
7		0	0	100% (E-SC) - Desconsiderado
8		310	0,16	50% (D-SC) e 50% (E-SC) - Desconsiderado
9		580	0,30	100% (A-SC)
10		1100	0,56	100% (A-SC))
11		290	0,15	50% (D-SC) e 50% (E-SC) - Desconsiderado
12		410	0,21	100% (D-SC)
Resistência média			0,37 ± 0,14	Umidade da argamassa = 10,86%

Legenda: (A-SC) – Ruptura na interface argamassa-substrato;  
 (B-SC) – Ruptura na argamassa;  
 (C-SC) – Ruptura no substrato;  
 (D-SC) – Ruptura na interface cola-argamassa;  
 (E-SC) – Ruptura na interface cola-pastilha.

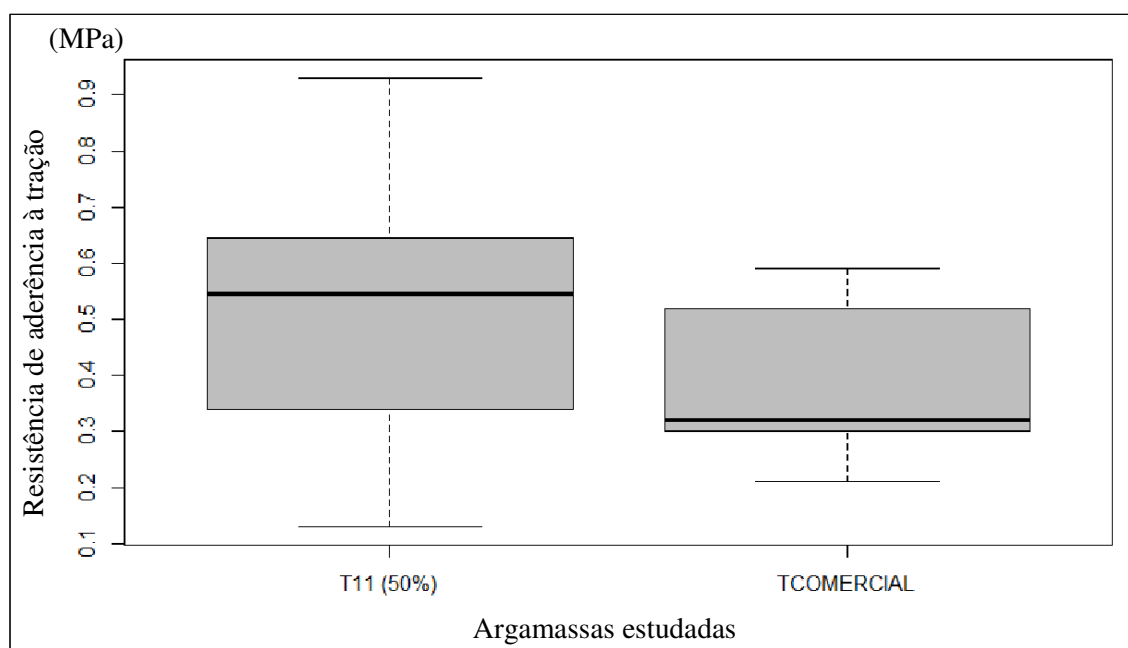
Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Em observação ao gráfico de caixa, Figura 42, 100% das amostras obtidas para a argamassa TCOMERCIAL estão abaixo da mediana da dosagem T11 (50%).

Através de análise das argamassas pelo teste de *Shapiro-Wilk* concluiu-se que o traço T11 (50%) apresenta normalidade nos dados (p-valor = 0.988), com um intervalo de confiança de 95%. A dosagem TCOMERCIAL, no entanto, para um intervalo de confiança de 90%, não apresenta normalidade nos dados apresentados (p-valor = 0.063).

Para comparação, as amostras foram consideradas independentes e como os dados obtidos para a dosagem TCOMERCIAL apresentaram pouca indicação de normalidade, foram utilizados dois testes de hipóteses para comparação das argamassas testadas: “t de *Student*” e *Wilcoxon-Mann-Whitney*, os p-valores obtidos, respectivamente, foram de 0,1869 e 0,1763. Com 95% de confiança, as amostras são consideradas iguais.

Figura 42 - Gráfico de caixa "boxplot" para ensaio de resistência de aderência à tração



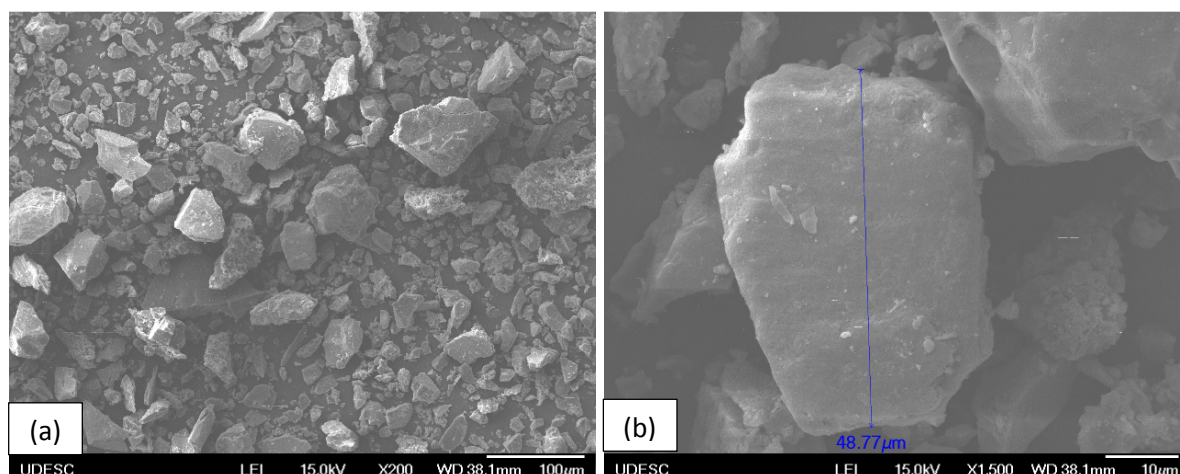
Fonte: Elaborado pela autora (2019)

#### 4.2.8 Caracterização morfológica das argamassas com a microscopia eletrônica de varredura - MEV

A caracterização microestrutural realizada através do microscópio eletrônico de varredura (MEV) permitiu observar a morfologia do RCMG utilizado nas dosagens T12 (40%), T11 (50%), T11 ARI e T11 FIBRA. Assim como a morfologia do fíler calcário utilizado na dosagem T11 FILER.

O RCMG e o fíler calcário, em forma de pó, apresentam morfologia heterogênea de formato angular, com partículas maiores distribuídas entre as menores. O RCMG (Figura 44), se comparado com o fíler calcário (Figura 43), apresenta morfologia mais angulosa.

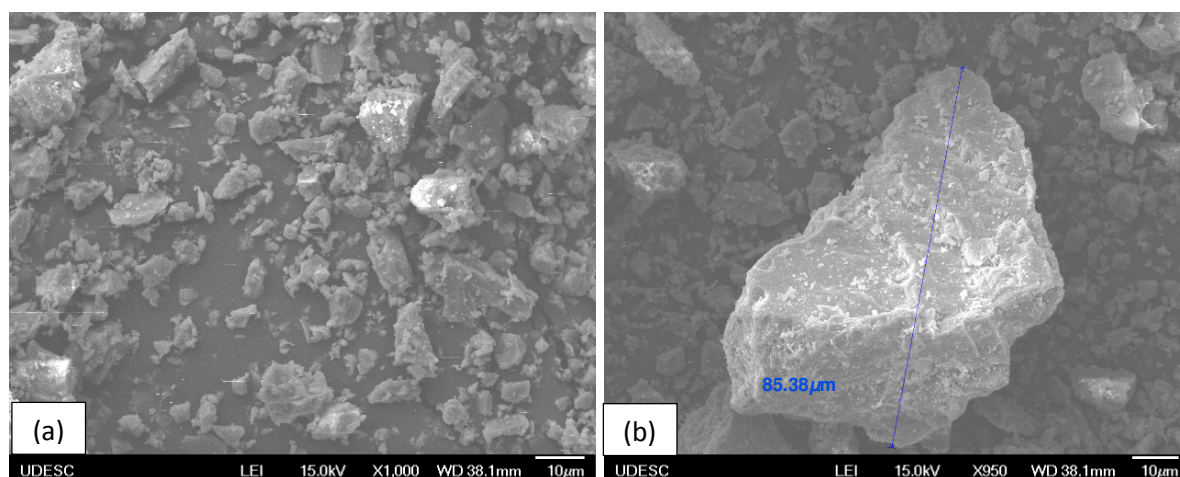
Figura 43 - Morfologia dos grãos de fíler calcário com aumento de 200x (a) e 1500x (b)



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Segundo Taguchi *et al.* (2012), para o RCMG, a morfologia irregular é obtida no processo de corte dos blocos de rochas ornamentais, gerando um pó fino, porém com formato angular.

Figura 44 - Morfologia dos grãos do RCMG com aumento de 1000x (a) e 950x (b)

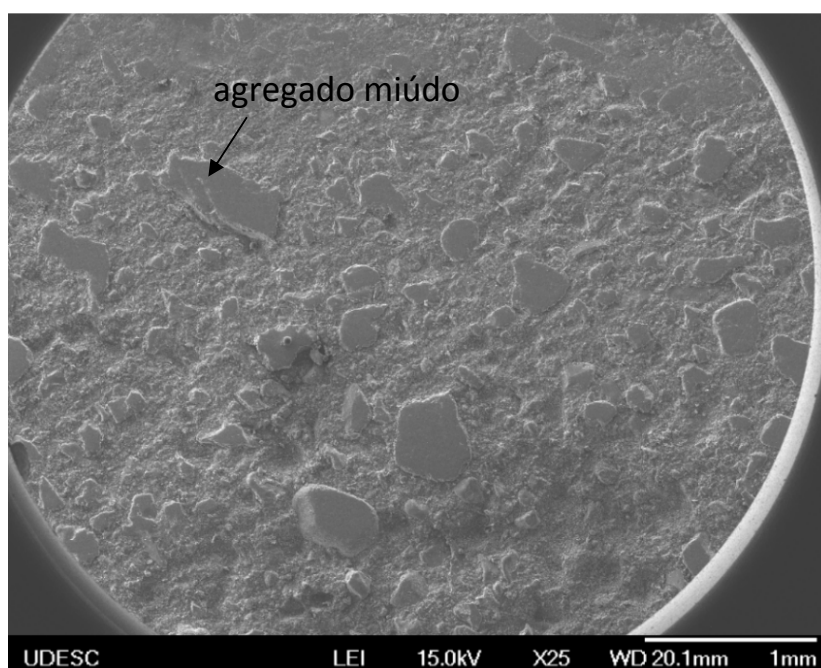


Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Para efeito de análise, as micrografias obtidas no ensaio do MEV foram divididas em faixas de magnitudes diferentes, onde as amostras foram retiradas de pontos aleatórios dos corpos de prova de argamassa, e são discutidos a seguir. Todas as amostras já haviam finalizado o seu processo de cura (28 dias), neste trabalho não é apresentado o desenvolvimento da estrutura cristalina da argamassa.

Utilizando uma ampliação de 25x observou-se de uma forma geral a distribuição e tamanho dos poros na argamassa. Na dosagem comercial (Figura 45), a pasta de cimento se mostrou mais homogênea, comparada com as demais.

Figura 45 - Argamassa TCOMERCIAL, ampliação de 25x.

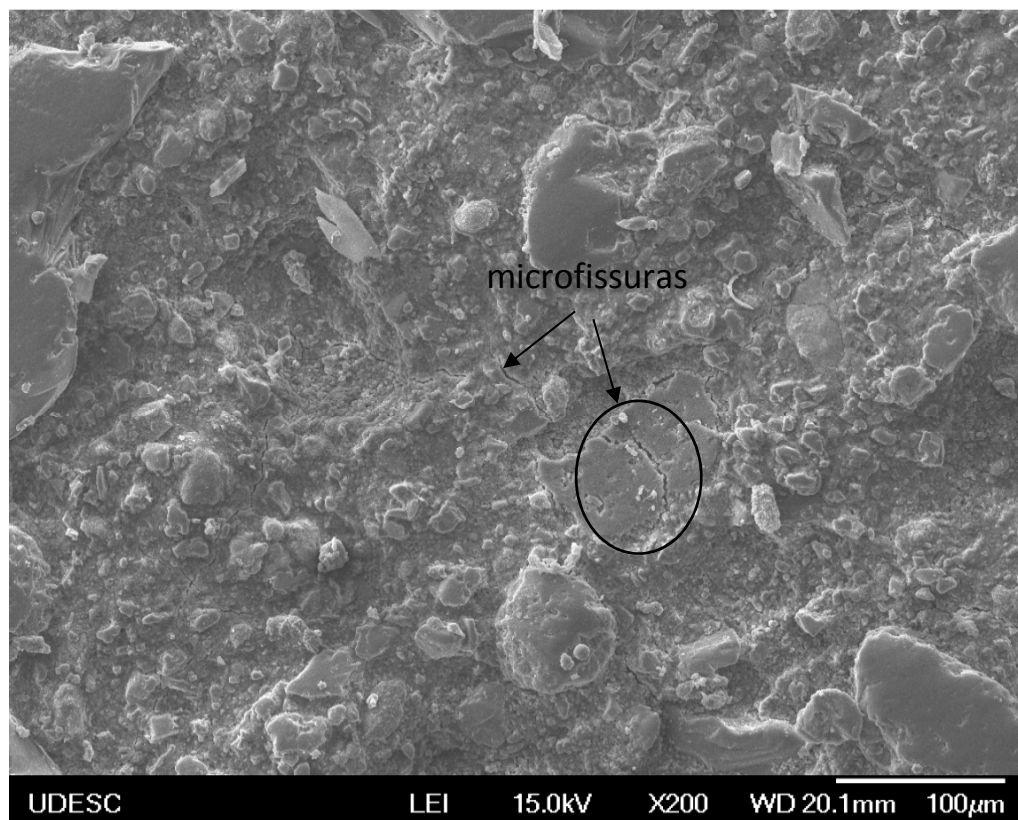


Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Utilizando um aumento de 200x observam-se microfissuras na matriz cimentícia da argamassa TCOMERCIAL (Figura 46).

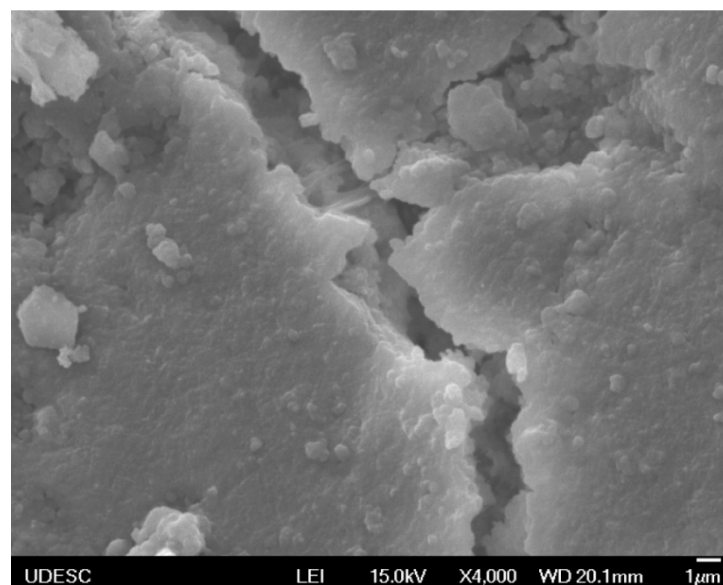
A Figura 47 apresenta a microfissura com um aumento de 4.000x. Segundo Mehta e Monteiro (2014), as argamassas ou concretos apresentam coeficientes de permeabilidade maiores do que pastas de cimento com a mesma relação água/cimento e grau de maturidade. Segundo os autores, isso se deve à existência de microfissuras na zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento. As fissuras existentes na zona de transição têm largura maior que a maioria das cavidades capilares presentes na matriz da pasta de cimento e, conseqüentemente, são capazes de estabelecer as interconexões que aumentam a permeabilidade do sistema.

Figura 46 - Argamassa TCOMERCIAL com aumento de 200x



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

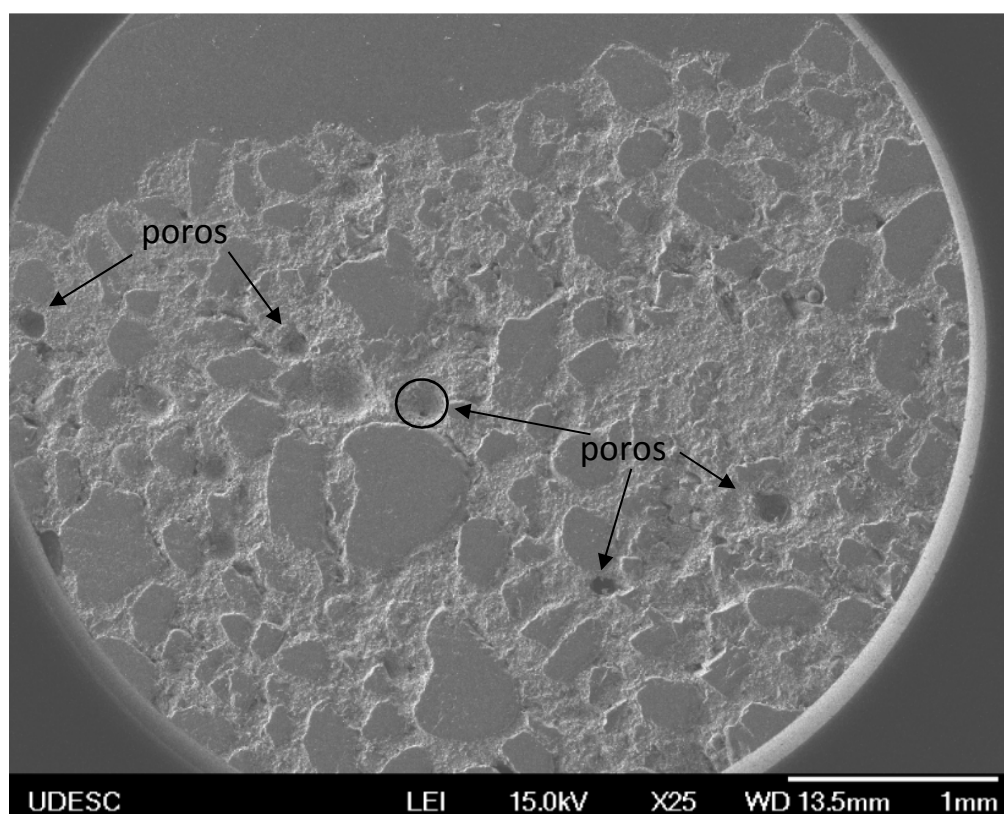
Figura 47 - Microfissura com aumento de 4.000x.



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A Figura 48 identifica a distribuição dos poros da argamassa T11 (50%), observa-se um aumento na quantidade de poros, se comparada a argamassa TCOMERCIAL para o local analisado, no entanto o índice de vazios da dosagem TCOMERCIAL é 19,32% maior do que a dosagem T11 (50%). Os poros distribuídos na matriz cimentícia, aparentemente não apresentam interconectividade e estão localizados próximos da interface matriz-agregado.

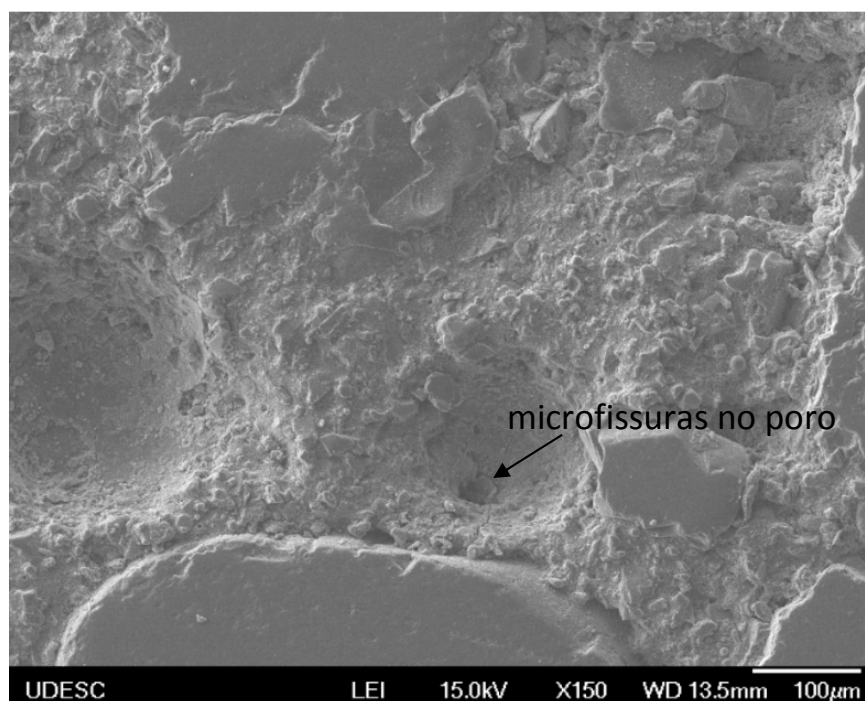
Figura 48 - Argamassa T11 (50%) com aumento de 25x



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Com ampliação de 150x em um dos poros, Figura 49, observa-se a presença de microfissura no poro próxima a região de interface com o agregado. As microfissuras presentes nas argamassas ensaiadas podem ter origem do processo de corte das amostras.

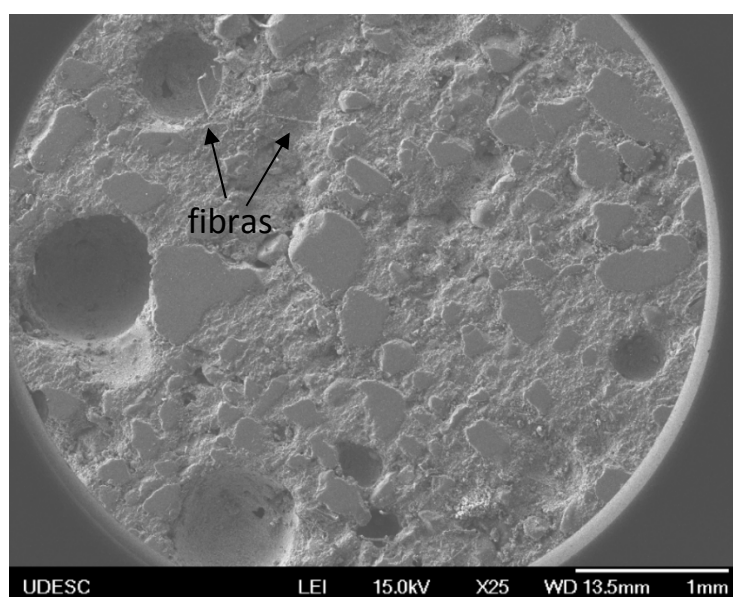
Figura 49 - Ampliação de 150x da argamassa T11 (50%)



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A adição de fibras na dosagem T11 (50%) resultou em uma argamassa com poros de maior diâmetro, se comparado com as demais argamassas analisadas, conforme observado na Figura 50.

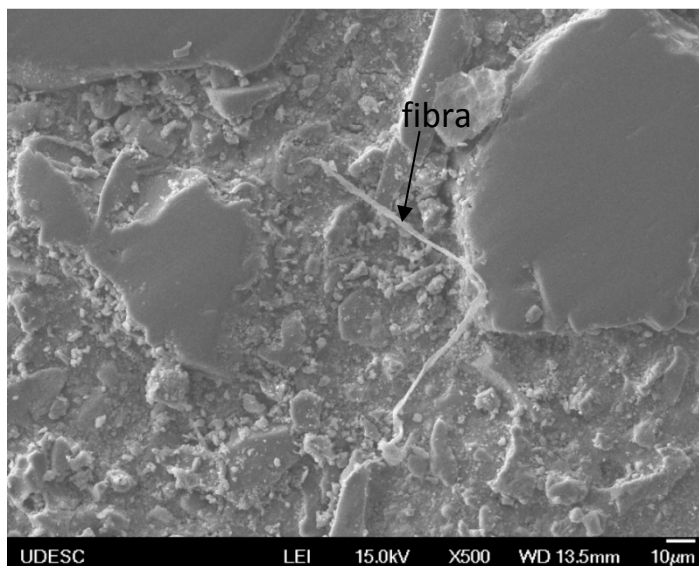
Figura 50 - Argamassa T11 FIBRA com aumento de 25x



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

A Figura 51 amplifica uma região aleatória, a qual pode-se visualizar a presença da fibra próxima ao agregado.

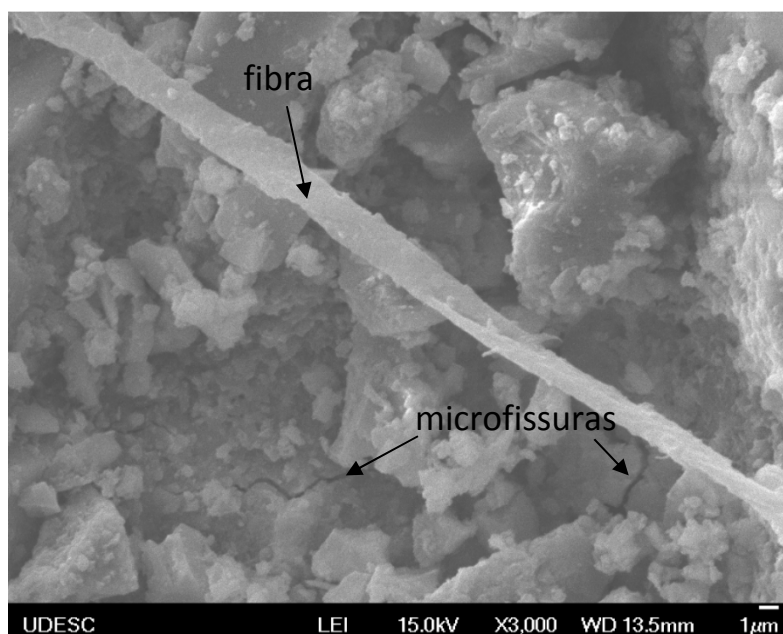
Figura 51 - Dosagem T11 FIBRA com aumento de 500x



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

Com um aumento de 3000x na região da fibra, identificam-se microfissuras e a microestrutura da fibra incorporada na argamassa, Figura 52.

Figura 52 - Aumento de 3000x na argamassa T11 FIBRA



Fonte: Elaborado pela autora (2019)

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

### 5.1 CONCLUSÕES

A análise química do RCMG apresentou teores de  $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 = 66,81\%$  em massa, o material não possui atividade pozzolânica e seus óxidos fundentes ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{K}_2\text{O}$ ), tem provável origem pelos processos de levigação, polimento ou granalha.

Argamassas autonivelantes foram formuladas ajustando a dosagem de cimento, areia, agregado fino (RCMG ou fíler calcário) e aditivos (superplastificante e modificador de viscosidade) sem apresentar segregação e com diâmetro de espalhamento  $\geq 125\text{mm}$ .

A adição de 40% de RCMG em relação à massa de cimento na mistura T8 elimina o problema de segregação, no entanto, demanda um volume maior de água, formando assim a mistura T12 (40%). A resistência à compressão em 1 dia da argamassa T12 (40%) foi 11,92% maior do que o traço T11 (50%).

No estado fresco, as argamassas formuladas não apresentaram retenção de fluxo no período de 30 minutos, enquanto a argamassa TCOMERCIAL reduziu cerca de 30% da capacidade de espalhamento no mesmo período. Todas as dosagens elaboradas apresentaram tempo de pega superior à 5:00 horas, suficiente para realização do bombeamento do material, caso necessário.

As dosagens desenvolvidas foram submetidas aos ensaios no estado endurecido descritos pela norma C1708 (ASTM, 2016) e foram superiores à argamassa comercial, quando analisadas as propriedades de resistência à compressão, absorção de água, índice de vazios, retração linear e resistência de aderência à tração. O traço T11 ARI apresentou a maior resistência à compressão com 1, 7 e 28 dias, sendo sua resistência final 43,14% maior quando comparada ao traço comercial. A dosagem TCOMERCIAL apresentou a maior porcentagem de absorção de água, índice de vazios, retração linear e sua resistência de aderência à tração foi 27,45% menor do que o valor obtido para o traço T11 (50%).

Em atenção à retração linear das argamassas, a dosagem TCOMERCIAL, aos 28 dias, apresentou o maior resultado entre as argamassas ensaiadas. Tendo em vista as patologias em contrapiso, como deslocamento e fissuras em decorrência da retração, as dosagens elaboradas apresentaram valores significativamente inferiores à argamassa TCOMERCIAL ensaiada. Os valores de retração linear mantiveram-se abaixo de 1,0 mm/m, exceto para a argamassa T11

(50%), a qual, obteve uma retração de 1,054 mm/m aos 28 dias. Em comparação com a mistura T11 (50%), a dosagem TCOMERCIAL obteve uma retração 85,56% maior.

A argamassa com incorporação de fibras de polipropileno, dosagem T11 FIBRA, obteve resultados de retração linear inferiores em relação à dosagem T11 (50%). Aos 7 dias houve redução de 68,92%, aos 14 dias 42,51%, aos 21 dias 46,48% e 47,63% aos 28 dias. A eficácia da ação das fibras na redução da retração linear das argamassas foi comprovada em todas as idades ensaiadas.

A análise microestrutural do RCMG e do fíler calcário permitiu a análise morfológica dos materiais e o MEV das argamassas identificou a presença de poros e microfissuras, predominantes na proximidade da interface pasta-agregado.

As argamassas desenvolvidas nesta pesquisa apresentaram resultados satisfatórios, quanto avaliadas às propriedades físicas nos estados fresco e endurecido, em sua maioria os resultados obtidos foram superiores quando comparados com a argamassa comercial testada, indicando a possibilidade de aplicação das dosagens na construção civil, como camada de contrapiso. Consequentemente, conclui-se que o RCMG pode ter um destino sustentável quando empregado em dosagens de argamassas autonivelantes, reduzindo, desta forma, os impactos ambientais pertinentes das atividades de exploração e beneficiamento de rochas ornamentais.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Variar a proporção de RCMG na mistura e aplicar métodos estatísticos e de superfície de resposta para análise de resultados das argamassas.

Avaliar as argamassas para revestimento em relação à resistência ao fogo de acordo com a norma de desempenho de edificações habitacionais (ABNT NBR 15575);

Verificar os níveis de desempenho das argamassas quanto à estanqueidade à água, exposição à ação de calor e choque térmico de acordo com a ABNT NBR 15575.

Realizar ensaios de viscosidade e entender conceitos de tensão, deformação e viscosidade nas argamassas formuladas.

Avaliar a estabilidade dimensional das argamassas quando aplicadas em uma superfície, com espessura determinada, verificar a formação de empenamento nos cantos (*curling*), o qual pode ser ocasionado pela retração das argamassas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (Org.). **Perfil das Atividades Setoriais no Brasil**. Distrito Federal, **julho de 2018**. Informe anual.

ABIROCHAS. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (Org.). **Balanço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2018**. Distrito Federal, 2019. Informe anual.

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

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5752**: Materiais pozolânicos — Determinação do índice de desempenho com cimento Portland aos 28 dias. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215**: Cimento Portland: Determinação da Resistência à Compressão. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2003.

ABNT - 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.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos para Concreto de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12653**: Materiais pozolânicos — Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276**: Argamassa para Assentamento e Revestimento. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: Concreto autoadensável. Rio de Janeiro, 2017.

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

AFONSO, Wlisses Menezes. **Caracterização de Resíduo de Corte de Rochas na Produção de Argamassas**. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2005.

ALTOÉ, Cássio Rigo et al. Contrapiso Autonivelante. In: SIMPÓSIO SUL CAPIXABA DE ENGENHARIA, 1., 2015, São Camilo. **Anais...** São Camilo: Anec, 2015.

AMORIM, Juliana Ruffato Resende. **Contrapiso de edifícios executado com argamassa fluida: parâmetros para desenvolvimento de projeto, execução de obra e controle da Qualidade**. 2015. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Habitação: Planejamento e Tecnologia., Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <[http://cassiopea.ipt.br/teses/2015\\_HAB\\_Juliana\\_Ruffato.pdf](http://cassiopea.ipt.br/teses/2015_HAB_Juliana_Ruffato.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2019.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C109/C109M – 16**: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). USA (2013), 10p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 157**: Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete. USA (2003), 5p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C191 – 13**: Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle. USA (2013), 8p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C348 – 14:** Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars. USA (2014), 6p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C490 – 17:** Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete. USA (2017), 5p

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C1708/C1708M – 16:** Self-leveling Mortars Containing Hydraulic Cements. USA (2016), 8p.

BARROS, Rui Nuno Almeida de Sá. **Betonilhas para o Revestimento de Pavimentos**. 2012. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2012. Disponível em: <[https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/29784/1/Tese\\_Mestrado\\_Rui\\_Barros\\_2012.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/29784/1/Tese_Mestrado_Rui_Barros_2012.pdf)>. Acesso em: 15 maio 2018.

CABRAL, Stênio Cavalier; AZEVEDO, Marina Álvares de. Materiais alternativos para adição ao cimento Portland. **Revista Científica Vozes dos Vales**, Diamantina, v. 5, n. 10, p.1-16, out. 2016. ISSN: 2238-6424.

CANBAZ, Mehmet; TOPÇU, İlker Bekir; ATESIN, Özgün. Effect of admixture ratio and aggregate type on self-leveling screed properties. **Construction And Building Materials**, [s.l.], v. 116, p.321-325, jul. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.084>>.

CARASEK, Helena. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**, 1ª ed, 2007, 870p.

CARASEK, Helena; COSTA, E. B. C. Influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimento de argamassa. **Revista Ambiente Construído** v.9, n 4 (2009).

CARVALHO, Henrique Duarte Sales. **Análise da Retração por Secagem em Argamassas Autonivelantes Utilizando Adições Mineraias Como Substitutos Parciais do Cimento Portland**. 2015. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CHRISTIANO, H. A. **Effect of chemical and mineral admixtures on the fresh properties of self-compacting mortars**. Master of Science in civil engineering. Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University, August, 2004.

CHRISTOFOLETTI, S.R.; M.M.T. MORENO. Granulometria por Difração a Laser e sua Relação com a Fasciologia das Rochas Argilosas da Formação Corumbataí-SP. In: 60º CICHINELLI, Gisele. Execução de contrapiso autonivelante industrial. **Revista Técnica**, São Paulo, v., mar. 2012.

CODIGO DE MINERAÇÃO. Decreto nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. **Presidência da República Casa Civil**: Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília.

CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 60., 2016, Águas de Lindóia. **Anais...** . São Paulo: Cbc, 2016. p. 102 - 118.

DANA, James D.. **Manual de Mineralogia**. São Paulo: Universidade de Sao Paulo, 1978. 642 p.

DINIZ, J. Z. F.; FERNANDES, J. F.; KUPERMAN, S. C. R. Retração e fluência. In: ISAIA, G. C. **Concreto: Ciência e tecnologia**. IBRACON 1º ed. São Paulo, 2011. Cap. 19 p. 673-703.

EFNARC - European Federation of Specialist Constr'uction Chemicals and Concrete Systems. **The Europaean Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use**. Reino Unido, 2005.

FERRARI, L.; KAUFMANN, J.; WINNEFELD, F.; PLANK, J. **Interaction of cement model systems with superplasticizers investigated by atomic force microscopy, zeta potential, and adsorption measurements**. Journal of Colloid Interface Science, v.347, p. 15-24, 2010.

FIORITO, Antonio J.S.I. **Argamassas e Revestimentos: Estudos e Procedimentos de Execução**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2009. 231 p.

FREITAS, Juliana Corrêa de. **Uso de Aditivo Redutor de Retração no combate à Retração em Argamassas Auto-adensáveis de Alta Resistência**. 2009. 170 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

FREITAS, Emilly Rachel Ferreira de; BORJA, Edilberto Vitorino de; ANJOS, Marcos Alyssandro Soares dos; PEREIRA, Alexandre da Costa; VIANA, Joyce Soares. Estudo das Adições e Aditivos Minerais nas Propriedades de Argamassas Auto-nivelantes. In: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 5., 2010, Maceió. **Anais...** Natal: Connepi, 2010. 8p. Disponível em: <<http://congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/1774/1030>>. Acesso em: 07 out. 2017.

GOMES, Rodrigo de Farias. **Síntese e caracterização de nanopartículas de Co e sua aplicação no aumento da microdureza de resinas epóxi**. 2010. 74f. Tese (Doutorado em Física). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.

GONÇALVES, Jardel Pereira; MOURA, Washington Almeida; MOLIN, Denise Carpena Coitinho dal. Avaliação da influência da utilização do resíduo de corte de granito (RCG), como adição, em propriedades mecânicas do concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p.53-68, jan-mar, 2002. Trimestral.

GONÇALVES, Jardel Pereira. **Utilização de Resíduo do Corte de Granito (RCG) como adição para a produção de concretos**. 2000. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/1676>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

GUIMARÃES, Diego. **Pisos industriais em concreto: determinação de teores ótimos de fibras de aço e polipropileno em ensaios mecânicos**. 2010. 90 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civi, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

HAMOY, Luciana Biscaro. **Contrapiso Autonivelante: Uma Proposta de Sistema Construtivo Racionalizado para Edificações**. 2017. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

KANTRO, D. L. **Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste: a miniature slump test**. Cement, Concrete and Aggregates, Orlando, v. 2, 1980.

MALHOTRA, V.M; MEHTA, P.K. **Pozzolanic and cementitious materials. Advances in concrete technology**. Volume 1, Canadá, 1996.

MARANGON, Ederli. **Desenvolvimento e caracterização de concretos autoadensáveis reforçados com fibra de aço**. 2006. Dissertação – Programa de PósGraduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

MARTINS, Eliziane Jubanski. **Procedimento para Dosagem de Pastas para Argamassa Auto-nivelante**. 2009. 140 f. Dissertação - (Mestrado em Engenharia Civil), Centro Tecnológico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MATTA, Vanessa Ribeiro Peixoto da; APOLINÁRIO, Elenice Carmo de Abreu; SANTOS, Gabriel Ricardo Silva; RIBEIRO, Daniel Vêras. Efeitos da Adição do Resíduo de Corte de Mármore e Granito (RCMG) no Desempenho de Argamassas de Cimento Portland no Estado Endurecido. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [s.l.], v. 9, n. 1, p.87-104, 10 nov. 2013. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista. <http://dx.doi.org/10.17271/19800827912013597>.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedade e Materiais**. 2. ed. [s. L.]: Nicole Pagan Hasparyk, 2014.

MELO, Karoline A. **Contribuição à dosagem de concreto auto-adensável com adição de filler calcário**. 2005. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

MITTRI, S. H. M. et al. Assessment of the pozzolanic activity of ornamental stone waste after heat treatment and its effect on the mechanical properties of concretes. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [s.l.], v. 11, n. 6, p.1186-1207, dez. 2018. UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952018000600004>.

MOLIN, Denise Carpena Coitinho dal. Adições Minerais. In: ISAIA, Geraldo Cechela. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 8. p. 261-309.

MOLIN FILHO, Rafael Germano dal. **Concreto Autoadensável com Cinza do Bagaço da Cana-de-Açúcar**. 2012. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Engenharia Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012. Disponível em: <<http://www.peu.uem.br/DISSERTAORafael.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2018.

MONTE, R. **Avaliação de metodologias de ensaio destinadas à verificação da eficiência de aditivos superplastificantes em pastas de cimento Portland**. 2003. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo

MOURA, Maria José; FIGUEIREDO, Maria Margarida. Aplicação das técnicas de picnometria de gás e de porosimetria de mercúrio à caracterização da madeira de *E. globulus*. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 10, n. 2, p. 207-216, 2002.

MOURA, Washington Almeida; GONÇALVES, Jardel Pereira. Utilização do Resíduo do Beneficiamento de Rochas Ornamentais (Mármore e Granitos) na Construção Civil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2002. 8p.

MOURA, Washington Almeida; LEITE, Mônica Batista. Estudo da viabilidade da produção de blocos com utilização de resíduo de serragem de rochas ornamentais para alvenaria de vedação. **Rem: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 2, p.147-154, jun. 2011. FapUNIFESP (SciELO).

MOURA, Maria José; FIGUEIREDO, Maria Margarida. Aplicação das técnicas de picnometria de gás e de porosimetria de mercúrio à caracterização da madeira de *E. globulus*. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 10, n. 2, p. 207-216, 2002

MOURA, Washington Almeida; GONÇALVES, Jardel Pereira.; LEITE, Roneison da Silva. Utilização do Resíduo do Corte de Mármore e Granito em Argamassa de Revestimento e Confeção de Lajotas para Piso. **Sitientibus**, Feira de Santana, v. 1, n. 26, p.49-61, jan-jun, 2002.

NAKAKURA, Elza Hissae; BUCHER, Hans Roman Edmundo. Pisos Autonivelantes: Propriedades e Instalação. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2., 1997, São Paulo. **Anais...** Salvador: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 1997. 12 p. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/8/80/TC034\\_Argamassa\\_auto\\_nivelante.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/8/80/TC034_Argamassa_auto_nivelante.pdf)>. Acesso em: 04 jun. 2018.

NEVES, Gelmiros; PATRICIO, S. M. R; FERREIRA, H. C; SILVA, M. C. Utilização de resíduos da serragem de granitos para a confecção de tijolos cerâmicos. In: 43º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...** Florianópolis/SC. Jun/1999.

NEVILLE, Adam. M. (1997) – **Propriedades do Concreto**, Editora PINI, 2ª Edição, 1997.

NUNES, Sandra C. B. **Betão auto-compactável: Tecnologia e propriedades**. 2001. Dissertação – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2001.

OLIVEIRA, Douglas Marcus de. OLIVEIRA, Tatiana Nunes. BEZERRA, Augusto Cesar da Silva. GOMES, Viviane de Jesus. PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti. **Utilização de resíduo de granito como substituição ao cimento Portland em matrizes cimentícias**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO CBC2011, 53., 2011, Florianópolis. **Anais**. [ouro Preto]: Ibracon, 2011. 13 p.

PINHO, Guilherme Macêdo. Viabilidade econômica do uso da argamassa autonivelante para contra piso. **Revista Especialize On-line Ipog**, Goiânia, v. 1, n. 10, 13p, dez. 2015. Disponível em: <<https://www.ipog.edu.br/revista-especialize-online/edicao-n10-2015/viabilidade-economica-do-uso-da-argamassa-autonivelante-para-contrapiso/>>. Acesso em: 23 out. 2017

RADULOVIC, Rada; JEVTIC, Dragica; RADONJANIN, Vlastimir. The properties of the cement screeds with the addition of polypropylene fibres and the shrinkage-reducing admixture. **Gradjevinski Materijali I Konstrukcije**, [s.l.], v. 59, n. 1, p.17-35, 2016. Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES). <http://dx.doi.org/10.5937/grmk1601017r>.

RAMOS, Telma; MATOS, Ana Mafalda; SCHMIDT, Bruno; RIO, João; SOUZA-COUTINHO, Joana. Granitic quarry sludge waste in mortar: Effect on strength and durability. **Construction and Building Materials**, [s.l.], v. 47, p.1001-1009, out. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.098>>.

REIS, Alessandra Savazzini dos; ALVAREZ, Cristina Engel de. A Sustentabilidade e o Resíduo Gerado no Beneficiamento das Rochas Ornamentais. In: IV ENCONTRO NACIONAL E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2007, Campo Grande. **Anais...** Vitória: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2007. p. 511 - 520.

REIS, Alessandra Savazzini dos; TRISTÃO, Fernando Avancini. Análise de Argamassas com Resíduo de Corte de Rochas Ornamentais. In: II CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2007, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Apfac, 2007.

RODRIGUES, Aretusa Carvalho. **Levantamento das Principais manifestações patológicas em edificações residenciais de uma construtora de Porto Alegre**. 2013. 102 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

RUBIN, Arianne Prevedello. **Argamassas Autonivelantes Industrializadas para Contrapiso: Análise do desempenho físico-mecânico frente às argamassas dosadas em obra**. 2015. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/127871>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

ŞAHMARAN, Mustafa; CHRISTIANTO, Heru Ari; YAMAN, İsmail Özgür. The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars. **Cement and Concrete Composites**, [s.l.], v. 28, n. 5, p.432-440, maio 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.12.003>.

SANTOS, Max M. Aguiar; DESTEFANI, A.Z.; HOLANDA, J.N.F. Caracterização de resíduos de rochas ornamentais provenientes de diferentes processos de corte e beneficiamento. **Revista Matérias**, Campo dos Goytacazes, v. 18, n. 4, p.1442-1450, 16 abr. 2013. Trimestral.

SATO, V. Y.; GALINA, A. P. L.; TEIXEIRA, J. E. S. L.. Contribution to the rheological study of cementitious pastes with addition of residues from the processing of ornamental rocks. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, [s.l.], v. 11, n. 6, p.1284-1307, dez. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952018000600007>.

SCHACKOW, Adilson. **EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS POZOLÂNICAS DE REJEITOS DE TIJOLOS NAS PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS**. 2015. 290 f. Tese

(Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Estadual de Santa Catarina, Joinville, 2015.

SILVA, Luisa Thaynara Muricy de Souza; SEVERO, Cibelle Guimarães Silva; BEZERRA, Ulisses Alencar. Utilização do Resíduo de Granito como Substituição Parcial do Cimento na Produção de Concreto. In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 1., 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Contecc, 2015. p. 1 - 4. Disponível em: <[http://www.confec.org.br/media/Civil\\_utilizacao\\_do\\_residuo\\_de\\_granito\\_como\\_substituicao\\_o\\_parcial\\_do\\_cimento\\_na\\_producao\\_de\\_concreto.pdf](http://www.confec.org.br/media/Civil_utilizacao_do_residuo_de_granito_como_substituicao_o_parcial_do_cimento_na_producao_de_concreto.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2017.

SOUSA, José Getúlio Gomes de; LARA, Patrícia Lopes de Oliveira (Org.). Realogia e Trabalhabilidade das Argamassas. In: BAUER, Elton. **Revestimentos de Argamassa: Características e Peculiaridades**. Brasília: Sinduscon-df, 2015. p. 23-28.

SOUZA, Aline Suzane de; FERREIRA, Aline Zuchi; AZEVEDO, Bruna Louise de Oliveira. **Estudo para o Desenvolvimento de Argamassa Autonivelante para Contrapiso**. 2012. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de. Produtividade em contrapisos: Como melhorar a produtividade na execução de contrapisos. **Equipe de Obra**, São Paulo, v. 14, dez. 2007. Trimestral. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/14/artigo67899-1.aspx>>. Acesso em: 07 out. 2017.

TAGUCHI, S. P. *et al.* CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO RESÍDUO GRANÍTICO IBERÊ CREMA BOUDEAX, IBERÊ GOLDEN E TWILIGHT PROVENIENTE DO CORTE UTILIZANDO MULTIFIOS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 20., 2012, Joinville. **Anais...** Joinville: Cbecimat, 2012. p. 325 - 332.

TEMP, Aldo Leonel. **Avaliação de Revestimentos de Argamassa à Permeabilidade ao Vapor de Água**. 2014. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <[http://cascavel.ufsm.br/tede//tde\\_arquivos/20/TDE-2015-05-06T093427Z-6284/Publico/TEMP, ALDO LEONEL.pdf](http://cascavel.ufsm.br/tede//tde_arquivos/20/TDE-2015-05-06T093427Z-6284/Publico/TEMP, ALDO LEONEL.pdf)>. Acesso em: 23 out. 2017.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; ZUCHETTO, Letícia Kauer; SOUZA, Rodrigo Périco de; OLIVEIRA, Maria Fernanda Nunes de. Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. **Ambiente Construído**, São Leopoldo, v. 17, n. 3, p.295-306, jul. 2017. Trimestral. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212017000300177>>. Acesso em: 08 ago. 2017.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; MOLIN, Denise Carpena dal. **Concreto Auto - Adensável**. [São Paulo]: Pini, 2008. 140 p.

VIANA, M., JOUANNIN, P., PONTIER, C., CHULIA, D. About pycnometric density measurements. **Talanta**, França, v. 57, p. 583-593, 2002.

VOTORANTIM. **Cimentos**. Disponível em < <https://www.votorantimcimentos.com.br/> > Acesso em: 20 dez, 2018.

YANG, Lin; ZHANG, Yunsheng; YAN, Yun. Utilization of original phosphogypsum as raw material for the preparation of self-leveling mortar. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 127, p.204-213, jul. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.054>.