

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL  
MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

Leandro Damião dos Santos

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO MATERIAL PULVERULENTO NAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS NA ARGAMASSA  
ESTABILIZADA**

**Belo Horizonte**

**2020**

Leandro Damião dos Santos

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO MATERIAL PULVERULENTO NAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS NA ARGAMASSA  
ESTABILIZADA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito à obtenção do título de Mestre em Construção Civil.

Área de concentração: Materiais e Componentes da Construção

Linha de pesquisa: Agregados e Argamassas

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior

Coorientador (a): Stefane Jardim Vitorino

Belo Horizonte

2020

S237e Santos, Leandro Damião dos.  
Estudo da influência do material pulverulento nas propriedades físicas e mecânicas na argamassa estabilizada [recurso eletrônico] / Leandro Damião dos Santos. - 2020.  
1 recurso online (xiii, 86 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior.  
Coorientadora: Stefane Jardim Vitorino.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexo: f. 84-86.  
Bibliografia: f. 18-41.

1. Construção civil - Teses. 2. Areia – Teses. 3. Argamassa - Teses. 4. Materiais granulados – Teses. I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Vitorino, Stefane Jardim. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 691 (043)

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Letícia Alves Vieira - CRB-6/2337  
Biblioteca Prof. Mário Werneck - Escola de Engenharia da UFMG

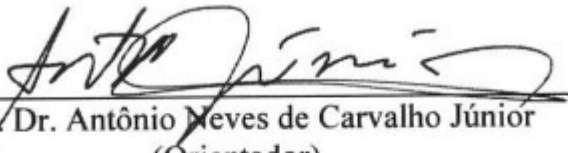
LEANDRO DAMIÃO DOS SANTOS

**“ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO MATERIAL PULVERULENTO  
NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS NA  
ARGAMASSA ESTABILIZADA”**

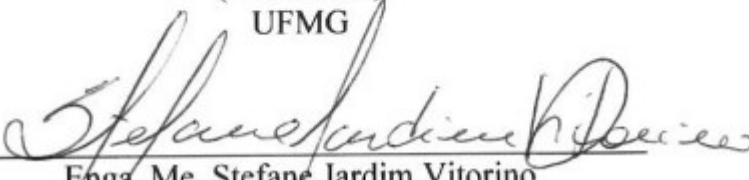
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Mestrado em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

Belo Horizonte, 1º de setembro de 2020.

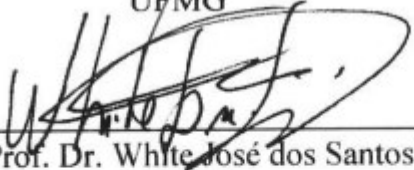
**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior  
(Orientador)

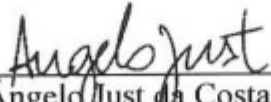
UFMG

  
Enga. Me. Stefane Jardim Vitorino

UFMG

  
Prof. Dr. White José dos Santos

UFMG

  
Prof. Dr. Ângelo Just da Costa e Silva

UPE

Os referidos membros e o aluno participaram da defesa por meio de videoconferência.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus primeiramente por me conceder esta graça de realizar mais um sonho na minha caminhada nos estudos, bem como ter me dado força e disposição para superar cada obstáculo encontrado.

Agradeço de um modo geral a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, em especialmente:

À minha família em geral, mas especificamente a minha mãe e meu pai pelo apoio e incentivo.

À minha namorada Ellen Dias, pela paciência e compreensão pôr em alguns momentos ter tido a vontade de procrastinar esta missão, mas diante de todos os obstáculos sempre esteve me dando apoio e motivação.

A meu orientador Prof. Dr. Antônio Neves Carvalho Júnior pela paciência, incentivo e amizade.

À minha grande mentora e coorientadora Eng<sup>a</sup>. M.Sc. Stefane Jardim Vitorino pela dedicação e apoio em todos sentidos.

À equipe técnica do laboratório da CRH pela colaboração e disponibilidade do espaço físico e materiais, em especial aos amigos Mário Henrique e Vinícius Silva.

A meus eternos amigos e mentores profissionais Ricardo Corrêa, Carla Borges, professora Karin Sommerfeld e professor Ricardo Estanislau.

À empresa Martins Lanna em especial a pessoa do Gustavo Lanna, pela colaboração em doação dos agregados.

A todos os meus professores da UFMG que contribuíram para realização deste trabalho.

## Resumo

As empresas que integram a indústria da construção civil têm buscado a cada dia maneiras que proporcionem a sustentabilidade produtiva. De modo que a área de suprimentos tem sido bastante explorada por desenvolver fornecedores de insumos que tenham produtos inovadores e garanta eficiência, qualidade e competitividade no mercado. Assim sendo, a utilização das argamassas industrializadas especificamente a estabilizada ainda tem gerado alguns questionamentos tanto para os consumidores quanto aos fabricantes, principalmente ao que tange a formulação e desempenho do produto frente ao sistema de revestimento. Por isso, este trabalho tem como objetivo verificar de forma experimental, um estudo quanto à influência da presença de material pulverulento oriundos de uma amostra de areia de gnaiss, com três variações de teores (0, 15 e 30%) em substituição em massa da areia. E utilizando-se uma amostra de areia de referência, sendo analisado o desempenho da argamassa estabilizada para 24 horas, em suas propriedades físicas e mecânicas no estado fresco e endurecido. Por meio de ensaios laboratoriais foram analisadas as propriedades de: índice de consistência, índice de retenção de água, teor de incorporação de ar, densidade de massa fresca e endurecida; bem como resistência mecânica à compressão e tração na flexão. Logo, diante dos resultados obtidos foi possível constatar que tanto o excesso de material pulverulento da areia quanto a sua ausência, afeta diretamente nas propriedades da mistura e desempenho da argamassa estabilizada. Sendo os melhores resultados obtidos nas amostras com limite de material pulverulento entre 12 a 15%.

Palavras chave: Argamassa estabilizada. Material pulverulento. Granulometria. Areia gnaiss

## **Abstract**

The companies that are part of the construction industry have been looking every day for ways that provide productive sustainability. Thus, the supply area has been extensively explored for developing suppliers of inputs that have innovative products and ensure efficiency, quality and competitiveness in the market. Thus, the use of industrialized mortars, specifically stabilized ones, has still generated some questions for both consumers and manufacturers, especially with regard to the formulation and performance of the product in relation to the coating system. Therefore, this work aims to verify, experimentally, a study regarding the influence of the presence of powdery material from a sample of gneiss sand, with three variations of contents (0, 15 and 30%) in substitution in mass of the sand. And using a reference sand sample, being analyzed the performance of the mortar stabilized for 24 hours, in its physical and mechanical properties in the fresh and hardened state. Through laboratory tests, the properties of: consistency index, water retention index, air incorporation content, density of fresh and hardened mass; as well as mechanical resistance to compression and traction in flexion. Therefore, in view of the results obtained, it was possible to verify that both the excess of powdery sand material and its absence, directly affects the properties of the mixture and the performance of the stabilized mortar. The best results are obtained in samples with a limit of powdery material between 12 to 15%.

**Keywords:** Stabilized mortar. Powdery material. Granulometry. Gneiss sand.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Consumo per capita de materiais e previsão para o Brasil até 2030	18
Tabela 2 Classificação dos agregados .....	19
Tabela 3 Influência da areia na retração da argamassa .....	24
Tabela 4 - Influência da granulometria da areia nas propriedades das argamassas .....	24
Tabela 5 - Limites do teor de material pulverulento passante na peneira de nº 200 por lavagem para a norma brasileira e americana .....	30
Tabela 6 Classificação das argamassas para revestimentos de paredes e tetos, quanto ao fornecimento ou preparo. ....	37
Tabela 7 Parâmetros mínimos de controle para as argamassas de revestimentos. ....	40
Tabela 8 Faixas de classificação conforme características e propriedades determinadas pelos métodos de ensaios das argamassas para assentamento e revestimentos paredes e tetos .....	41
Tabela 9 - Caracterização da areia. ....	43
Tabela 10 - Distribuição granulométrica das amostras de areia. ....	44
Tabela 11 - Matriz de variações de dosagem .....	47
Tabela 12 Relação de ensaios realizados. ....	47
Tabela 13 - Resultados dos ensaios consistência e água para mistura .....	60
Tabela 14 - Resultado densidade de massa fresca e teor de ar incorporado.	62
Tabela 15 - Resultado de retenção de água e tempo máximo de estabilização .....	64
Tabela 18 - Resultado do coeficiente de capilaridade .....	68
Tabela 19 - RESULTADOS ensaios resistência potencial de aderência à tração .....	69
Tabela 20 - Resultados de resistência à tração na flexão .....	71
Tabela 21 - Resultados de resistência à compressão axial .....	72
Tabela 22 - Resumo das propriedades avaliadas na argamassa .....	76

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Composição das argamassas mistas, industrializadas e estabilizadas .....	39
Gráfico 2 Análise da curva granulométrica da amostra de referência. ....	43
Gráfico 3- Quantidade de água para mistura .....	60
Gráfico 4 -Densidade de massa fresca .....	62
Gráfico 5 - Teor de ar incorporado .....	62
Gráfico 6 Retenção de água e tempo de estabilização da mistura .....	64
Gráfico 7 - Densidade de massa no estado endurecido .....	65
Gráfico 8 - Absorção de água por imersão e porosidade .....	67
Gráfico 9 - Coeficiente de capilaridade .....	68
Gráfico 10 - Resistência potencial de aderência à tração .....	70
Gráfico 11- Resistência à tração na flexão .....	71
Gráfico 12 - Resistência à compressão axial .....	72

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Distribuição granulométrica e sua influência na retração plástica....	25
Figura 2 - Representação esquemática dos mecanismos dos IA .....	33
Figura 3 - Imagem da forma dos agregados artificiais conforme as frações de cada peneira retida nas respectivas malhas (a) 1,2mm; (b) 0,6mm; (c) 0,15mm; (d) retido 0,075mm; (e) < 0,075mm. ....	44
Figura 4 - Mesa de espalhamento (Flow Table) para o ensaio de consistência .....	48
Figura 5 - Execução do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado .....	49
Figura 6 - Determinação da retenção de água .....	50
Figura 7 - Etapas do ensaio de resistência a tração a flexão. ....	52
Figura 8 - Ensaio de resistência à compressão axial.....	53
Figura 9 - Resistência potencial de aderência à tração .....	55
Figura 10 - Ilustração das etapas para determinação da densidade de massa no estado endurecido. ....	56
Figura 11 - Absorção de água por imersão e porosidade. ....	57
Figura 12 - Ensaio de absorção de água por capilaridade .....	58

## LISTA DE NOTAÇÕES E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEH	Aditivo Estabilizador de Hidratação
ANEPAC	Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil
ASTM	American Society for Testing and Materials
ARI	Alta Resistência Inicial
BS	British Standard
C <sub>3</sub> A	Aluminato tricálcico
CP	Cimento <i>Portland</i>
CP's	Corpos de Prova
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EUA	Estados Unidos da América
Kgf	Quilograma força
IA	Incorporador de Ar
ISO	International Organization for Standardization
LEM	Laboratório de Ensaios de Materiais
MME	Ministério de Minas e Energia
MP	Material Pulverulento
MPa	Megapascal
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
SSS	Superfície Saturada Seca
Unb	Universidade de Brasília
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
VSI	Vertical Shaft Impact

## LISTA DE SÍMBOLOS

$A$	Área da seção transversal do corpo de prova ( $\text{mm}^2$ )
$A_1$	Área da pastilha ( $\text{mm}^2$ )
$A_i$	Absorção de água por imersão (%)
$AF$	Fator água/argamassa fresca
$A_r$	Teor de ar incorporado na argamassa no estado fresco (%)
$a/c$	Relação água cimento
$C$	Coefficiente de capilaridade ( $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ )
$d_m$	Densidade de massa da argamassa fresca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );
$d_t$	Densidade de massa teórica da argamassa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
$f_c$	Resistência à compressão axial (MPa)
$F_f$	Força máxima obtida no ensaio (N)
$F_t$	Força máxima obtida no ensaio resistência à tração na flexão (N)
$F$	Força máxima obtida no ensaio resistência à compressão (N)
$\text{g}/\text{cm}^3$	Gramas por centímetros cúbicos
$L$	Distância entre os suportes (mm)
$m$	Massa de material (g)
$M$	Massa da mistura da argamassa no estado anidro (g)
$M_a$	Massa do conjunto com argamassa (g).
$m_c$	Massa do recipiente e da argamassa de ensaio (g)
$m_i$	Massa de cada componente da argamassa (g)
$\text{mm}$	Milímetro
$m_v$	Massa do recipiente cilíndrico vazio (g)
$M_s$	Massa do conjunto após sucção (g).
$m/s$	Metros por segundos
$M_{sat}$	Massa do corpo de prova que ficou imerso em água com superfície seca (g)
$M_{seca}$	Massa do corpo de prova seco (g)
$M_{sub}$	Massa do corpo de prova submerso em água (g)
$M_w$	Massa total de água adicionada à mistura (g)
$M_{90}$	Massa do corpo de prova, após 90min de imersão em água (g)
$M_{10}$	Massa do corpo de prova, após 10min de imersão em água (g)
$P'$	Carga de ruptura (N)
$P$	Porosidade (%)

$R_a$	Retenção de Água (%)
$R_a$	Resistência de aderência à tração (MPa)
$V$	Volume do Corpo de prova
$V_V$	Volume de vazios
$V_r$	Volume do recipiente cilíndrico (cm <sup>3</sup> )
$V_t$	Volume total
$\gamma_{ap}$	Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )
$\gamma_i$	Massa específica de cada componente da argamassa (g/cm <sup>3</sup> )
$\mu\text{m}$	Micrometro (10 <sup>-6</sup> m)
%	Porcentagem
$\emptyset$	Diâmetro

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>2.REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Agregados para construção civil</b>	<b>18</b>
<b>2.1.1 Classificação dos Agregados</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2 Aspectos mineralógicos na produção dos agregados</b>	<b>20</b>
2.1.2.1 Rochas e Minerais	20
2.1.2.2 Produção de agregado miúdo	21
<b>2.1.3 A influência do agregado nas propriedades da argamassa</b>	<b>22</b>
2.1.3.1 Aspectos granulométricos	22
2.1.3.2 Distribuição granulométrica	23
2.1.3.3 Teoria do empacotamento dos grãos	25
2.1.3.4 Massa específica real e Massa unitária	26
2.1.3.5 Porosidade, Absorção e Umidade superficial	26
2.1.3.6 Forma, Textura e Aderência	27
2.1.3.7 Resistência à compressão e Módulo de elasticidade	28
2.1.3.8 Materiais Pulverulentos (Microfinos)	28
<b>2.2 Cimento Portland</b>	<b>30</b>
<b>2.3 Aditivos</b>	<b>31</b>
<b>2.3.1 Redutores de água (plastificantes e superplastificantes)</b>	<b>31</b>
<b>2.3.2 Incorporador de Ar (IA)</b>	<b>32</b>
<b>2.3.3 Aditivo estabilizador de hidratação (AEH)</b>	<b>34</b>
<b>2.4 Argamassa para construção civil</b>	<b>35</b>
<b>2.4.1 Considerações iniciais</b>	<b>35</b>
<b>2.4.2 Argamassa Estabilizada</b>	<b>36</b>
2.4.2.1 Análise da formulação da Argamassa Estabilizada	38
<b>2.4.3 Parâmetros de controle das argamassas</b>	<b>39</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>42</b>
<b>3.1 Considerações iniciais</b>	<b>42</b>
<b>3.2 Materiais</b>	<b>42</b>
3.2.1 Aglomerante	42
3.2.2 Aditivo	42
3.2.3 Agregado	42
3.2.4 Água	45
<b>3.3 Programa experimental</b>	<b>45</b>
<b>3.3.1 Concepção do método de trabalho</b>	<b>45</b>
<b>3.3.2 Variações das formulações de dosagem</b>	<b>46</b>

<b>3.3.3 Consistência .....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado da argamassa fresca .....</b>	<b>48</b>
<b>3.3.5 Retenção de água e tempo máximo de estabilização .....</b>	<b>50</b>
<b>3.3.6 Resistência à tração na flexão .....</b>	<b>51</b>
<b>3.3.7 Resistência à compressão axial .....</b>	<b>52</b>
<b>3.3.8 Resistência potencial de aderência à tração .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.9 Densidade de massa no estado endurecido .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3.10 Absorção de água por imersão e porosidade.....</b>	<b>57</b>
<b>3.3.11 Coeficiente de capilaridade.....</b>	<b>58</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>60</b>
<b>4.1 Ensaio de consistência e quantidade de água para mistura .....</b>	<b>60</b>
<b>4.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado da argamassa fresca .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3 Retenção de água e tempo máximo de estabilização .....</b>	<b>63</b>
<b>4.4 Densidade de massa no estado endurecido .....</b>	<b>65</b>
<b>4.5 Absorção de água por imersão e porosidade.....</b>	<b>66</b>
<b>4.6 Coeficiente de capilaridade.....</b>	<b>68</b>
<b>4.7 Resistência potencial de aderência à tração .....</b>	<b>69</b>
<b>4.8 Resistência à tração na flexão .....</b>	<b>70</b>
<b>4.9 Resistência à compressão axial .....</b>	<b>72</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>74</b>
<b>6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>77</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>78</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>84</b>
Anexo 1 – Laudo Técnico Cimento Portland Cpv Ari .....	84
Anexo 2 – Ficha Técnica Aditivo Incorporador De Ar .....	85
Anexo 3 –Ficha Técnica Aditivo Estabilizador De Hidratação .....	86

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema de revestimento utilizado nos empreendimentos imobiliários, cada vez mais verticalizados, tem exigido da indústria da construção civil, que desenvolva formas de aperfeiçoar seus produtos e tecnologias construtivas. Busca-se garantir melhor desempenho e durabilidade. Especificamente, sobre a produção das argamassas de Cimento *Portland*, os construtores têm investido recursos à procura de soluções criativas e sustentáveis em meios ao cenário econômico pouco favorável. Por isso, o uso das argamassas industrializadas como a estabilizada ganharam destaque diante de um mercado que busca produtividade e qualidade.

Simultaneamente ao desenvolvimento de novas construções, o aumento do consumo de agregados artificiais britados vem ocupando posição relevante, uma vez que esses materiais são utilizados em grande escala em concretos e argamassas. Esse consumo de agregados britados como as areias artificiais podem ser vistos como um termômetro do desenvolvimento da indústria da construção civil (ANEPAC, 2012).

No entanto, percebe-se que os agregados britados provenientes do processo de cominuição mecânica de rocha, submetido ou não a algum processo de classificação, para retirada do excesso de material pulverulento (microfinos diâmetro menor que 0,075mm), geralmente derivados de britadores de impacto de eixo vertical, influenciam nas propriedades dos materiais cimentícios. Essa influência depende da composição mineralógica da rocha mãe e de sua estrutura morfológica, tais como: porosidade, absorção de água, forma, textura e resistência mecânica (HADDAD, 2015).

Desta forma, a distribuição granulométrica dos agregados miúdos é uma variável determinante no desempenho das argamassas de assentamento e de revestimento de alvenarias, principalmente nas argamassas estabilizadas. Normalmente, a quantidade de material pulverulento impacta significativamente nas propriedades físicas tanto estado fresco quanto no estado endurecido da mistura (SILVA; CAMPITELI, 2006).

Por conseguinte, a densidade da argamassa em ambos os estados físicos torna-se uma propriedade importante, a qual pode explicar o desempenho do revestimento quanto às propriedades mecânicas influenciada, com maior peso, pelo empacotamento das partículas dos agregados miúdos, proveniente da

quantidade de material pulverulento presente na areia e também pelo empacotamento do conjunto agregado aglomerantes, (SILVA, 2006).

Este trabalho segue no propósito de contribuir para a construção do conhecimento científico, devido à pouca exploração do assunto abordado na pesquisa, dada a escassez de publicações como artigos científicos que tratam especificamente a influência da presença do material pulverulento oriundos do próprio agregado miúdo. Materiais estes, utilizados no desenvolvimento das argamassas industrializadas, bem como nas argamassas estabilizadas. Foca-se também, na questão da sustentabilidade dos recursos naturais como insumos para a construção civil.

Assim sendo, o presente estudo teve por objetivo geral avaliar por meio de um estudo experimental, a influência da adição de material pulverulento oriundos de uma areia de gnaiss em substituição de parte da proporção de areia presente nas misturas, com três variações de teores em percentuais (0, 15 e 30), utilizando uma amostra de areia de referência, sendo analisado o desempenho da argamassa estabilizada para 24 horas, em suas propriedades físicas e mecânicas no estado fresco e endurecido.

Para que o objetivo geral fosse alcançado, foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- I. Desenvolver uma curva granulométrica com base em referência normativa e nas condições de exequibilidade de um traço de argamassa estabilizada para 24 horas.
- II. Analisar a influência da adição de material pulverulento oriundos da própria areia artificial de gnaiss, nas propriedades física e mecânicas da argamassa estabilizada no estado fresco e endurecido.
- III. Verificar qual o limite de material pulverulento em percentual que contribui positivamente para as propriedades físicas e mecânicas das argamassas estabilizadas.

Para melhor compreensão do tema proposto nestes estudo, esta dissertação foi dividida em seis seções textuais. A primeira engloba a introdução, cujo conteúdo apresenta as considerações sobre a pesquisa, objetivos gerais e específicos, justificativa e a estrutura propriamente dita. Na segunda seção é apresentada a revisão bibliográfica e fundamentação teórica sobre agregados,

aglomerante, aditivo e argamassa. Na terceira seção se tem a explicação sobre os materiais e métodos utilizado juntamente com o programa experimental, já na quarta seção são apresentados os resultados e análises. E nas seções 5 e 6 são descritas, respectivamente, as considerações finais da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros. Por fim, tem-se as referências bibliográficas e anexos de uso neste trabalho.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Agregados para Construção Civil

De acordo com o estudo de Dutra (2015), o consumo de agregados utilizados na construção civil é um parâmetro importante para indicar a situação econômica e social de um país. Segundo Valverde (2001), enquanto os EUA consomem anualmente cerca de 7,5 ton./habitante de agregado, a Europa Ocidental, em torno de 5 a 8 ton./habitante/ano, o Brasil consome em torno de 2,5 ton./habitante/ano.

A Tabela 1 apresentada a seguir, mostra o consumo per capita de agregados, bem como a previsão de consumo dos mesmos, e do Brasil até 2030.

Tabela 1 Consumo per capita de materiais e previsão para o Brasil até 2030

Agregados (ton)	Europa	EUA	Mundo	Brasil			
	2008			2008	2015	2022	2030
	6,0 - 10,0	9,0	3,5	2,5	3,6	6,2	7,5

Fonte: MME, 2019.

Os agregados para construção civil são considerados, relativamente, bens com baixo valor unitário, porém com grandes volumes físicos de comercialização dentre todos os produtos da indústria mineral. O consumo baixo, em relação à Europa e EUA, se dá devido a uma demanda reprimida por agregados e pela inexistência de obras adequadas de infraestrutura e habitação (ALMEIDA e LUZ, 2012).

#### 2.1.1 Classificação dos Agregados

De acordo a ABNT NBR 9935:2011, agregado é definido, como sendo: “Material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto”. Tem como característica comercial baixo valor unitário, quando comparados ao cimento *Portland*, e ocupam um volume significativo nos concretos em torno de 90% do volume total Mehta e Monteiro (2014), além de contribuírem tecnicamente com estabilidade dimensional e maior durabilidade, quando comparado à pasta de cimento pura.

Segundo Giordani (2014) e Bauer (2015), existem diversas formas de classificar os agregados, a ABNT NBR 9935:2011 adota algumas terminologias que podem ser divididas: em relação à natureza, a dimensão e a densidade, ilustradas na Tabela 2.

Tabela 2 Classificação dos agregados.

<b>Natureza</b>	<b>Naturais</b> , onde são retirados da natureza e podem ser lavados, classificados ou britados.
	<b>Artificiais</b> , resultado de processos industriais (alteração mineralógica, química ou físico-química).
	<b>Reciclados</b> , são os materiais reciclados de resíduos ou subprodutos industriais.
<b>Dimensões</b>	<b>Agregado graúdo</b> são os grãos retidos na peneira com 4,75mm e passante na peneira com 75mm.
	<b>Agregado miúdo</b> são os grãos retidos na peneira com 0,15mm e passante na peneira com 4,75mm.
<b>Densidade</b>	<b>Normal</b> com valores entre 2000 e 3000 Kg/m <sup>3</sup> .
	<b>Leves</b> (exemplo: argila expandidas, vermiculita) valores até 2000 Kg/m <sup>3</sup> .
	<b>Pesados</b> (exemplo: barita, magnetita, limonita) valores acima de 3000 Kg/m <sup>3</sup> .

Fonte: ABNT NBR 9935: 2011.

Segundo Bauer (2015), uma característica muito importante dos agregados está relacionada a sua densidade aparente, de acordo com sua origem mineralógica, cuja classificação consiste em leve, médio ou normal e pesado.

Vale ressaltar em relação ao tamanho mínimo limite do agregado miúdo, há divergências entre os limites apresentados na literatura. Conforme Mehta e Monteiro (2008), os agregados miúdos contêm partículas que variam entre 0,075 mm e 4,75mm, não considerando o material passante na peneira de malha 0,075mm (microfinos) como parte do agregado miúdo.

Por outro lado, Neville (2015), considera o tamanho mínimo limite do agregado miúdo de 60µm, enquanto Damo (2011), estabelece peneira de malha de 0,15mm. A NBR 7211:2005 estabelecia também a malha de 0,15mm como tamanho mínimo, diferentemente da versão atual da NBR 7211:2009, que não menciona este limite.

### **2.1.2 Aspectos mineralógicos na produção dos agregados**

A identificação dos constituintes minerais auxilia no reconhecimento das propriedades do agregado, mas não pode, por si só, servir de parâmetro para sua escolha, pois não se pode prever seu desempenho nos concretos e argamassas com base apenas na mineralogia (CUNHA *et al.* NEVILLE, 2015).

Contudo, algumas noções básicas de geologia, classificação e descrição de rochas e minerais são essenciais para entender as origens e propriedades dos agregados miúdos oriundos de britagem, que terão importante influência no desempenho das argamassas.

Vale ressaltar ainda, segundo Carasek (2007) e Isaias (2011), que o ensaio mineralógico do agregado é útil para avaliar sua qualidade e permitir a detecção de propriedades indesejáveis como, por exemplo, a presença de algumas formas instáveis de sílica. Além disso permite a comparação de um agregado com desempenho conhecido com outro desconhecido. Logo, as características mineralógicas podem influenciar nas propriedades reológicas das argamassas, por meio da coesão e o ângulo de atrito interno das partículas, impactando na trabalhabilidade da mistura.

Portanto é de conhecimento indispensável classificar a natureza dos agregados, pois em alguns casos podem apresentar alterações de volume por variação de umidade ou mesmo reação com os álcalis do cimento (HELENE; TERZIAN, 1993).

#### **2.1.2.1 Rochas e Minerais**

Pode-se conceituar rocha como material consolidado, composto por um conjunto de minerais resultantes de um processo geológico determinado. Sendo constituído por um ou mais minerais, dispostos segundo as condições de temperatura e pressão existentes durante sua formação. Bem como formado por material não cristalino como o vidro vulcânico e por material sólido orgânico como o carvão.

Quanto à origem, as rochas classificam-se em três grupos: ígneas ou magmáticas, sedimentares e metamórficas. Dentro desses grupos, de forma geral, a textura e a composição mineral são os critérios mais relevantes para a

identificação dos diferentes tipos de rochas ou tipos litológicos (CALAES *et al.* 2007).

Visto que todos os minerais possuem suas propriedades físicas, e estas são: brilho, cor, traço, clivagem, fratura, dureza, tenacidade, magnetismo e peso específico, conforme o processo de formação geológico (WEIDMANN, 2008).

Logo, as rochas ígneas são resultantes da solidificação do magma do interior da crosta terrestre, e como exemplos, estão os granitos e basaltos. Bem como as rochas sedimentares são resultantes da consolidação de sedimentos, e como exemplos mais comuns, se apresentam os calcários e arenitos. Assim sendo as rochas metamórficas são oriundas dos outros dois grupos, que sofreram mudanças mineralógicas, químicas e estruturais, no estado sólido, devido a alterações das condições físicas e químicas, e como exemplo, estão os gnaisses e mármore (FRASCÁ; SARTORI, 1998).

Embora o agregado oriundo da rocha de gnaiss apresente maior abrasividade e dureza em relação as rochas sedimentares, ainda assim é um tipo de rocha que, conforme o tipo de processo de britagem e moagem a ser utilizado, pode gerar uma quantidade de material pulverulento significativo, (WEIDMANN, 2008).

#### 2.1.2.2 Produção de agregado miúdo

A produção de agregados miúdos de britagem passa por diversos estágios. Além do processo normal de produção de pedra britada (agregado graúdo) têm-se outros processos subsequentes para se chegar ao agregado miúdo de britagem com características melhoradas para utilização em argamassas. Ainda pode ocorrer alguma alteração no processo original, como inserção de um novo britador ou recirculação do material graúdo para maior e/ou melhor produção do material miúdo (FRASCÁ; SARTORI, 1998).

Deste modo o entendimento dos processos e dos equipamentos utilizados é de suma importância, uma vez que estes influem nas características finais dos agregados miúdos de britagem. Segundo Neville (2015), além do tipo de britador, a quantidade de material nele inserido também afeta a granulometria do produto britado. Mehta e Monteiro (2014), também afirmam que o tipo de britador utilizado pode determinar a forma das partículas.

Visto que a seleção adequada do processo de britagem e peneiramento pode determinar o sucesso da geração de um produto que atenda as especificações necessárias. Embora algumas das características da areia de britagem estejam relacionadas à composição da rocha-mãe, tais como: dureza, absorção de água, presença de contaminantes; outras podem ser controladas durante o processo de produção: distribuição granulométrica e forma (ALMEIDA, 2012).

Diante do exposto, a seguir iremos apresentar de forma sucinta algumas características do principal britador de impacto de eixo vertical (VSI), cujo é o mais utilizado no processo produtivo de agregado miúdo. Nos britadores de tipo, *Vertical Shaft Impact (VSI)*, a rocha que será moída é inserida pelo centro de um eixo, rotacionado à velocidade elevada que lança o material para fora do rotor por aberturas periféricas, ou seja, há o atrito entre a própria partícula e o impacto mecânico do equipamento (FRASCÁ; SARTORI, 1998).

### **2.1.3 A influência do agregado nas propriedades da argamassa**

#### 2.1.3.1 Aspectos granulométricos

A composição granulométrica pode ser definida como sendo a distribuição do tamanho de partículas de determinado agregado, sendo usualmente expressa em termos de porcentagens acumuladas das frações retidas ou passantes em uma dada série de aberturas de peneiras, ou ainda, de porcentagens entre certos intervalos de aberturas. Assim a composição granulométrica de um agregado é determinada por meio de peneiramento de uma amostra representativa em uma sequência de peneiras dispostas da maior abertura em cima para a menor abertura embaixo, (WEIDMANN, 2008).

Visto que o ensaio de peneiramento deve ser realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248:2003, que apresenta algumas recomendações, como por exemplo, a quantidade mínima da amostra que deve ser ensaiada de acordo com a dimensão máxima característica do agregado e quantidade limite de material que pode ficar sobre cada peneira. Essa quantidade é limitada a fim de evitar que o excesso de material provoque obstrução da malha e impeça os grãos menores de passar.

Por isso o peneiramento deve ser realizado com a amostra seca para evitar o entupimento das peneiras com material úmido e os torrões devem ser desfeitos para evitar sua retenção em peneiras de malha maior que os grãos os quais os compõem. Além disso, normalmente antes do ensaio de granulometria, tanto os agregados graúdos quanto miúdos, procedem-se o ensaio de determinação do material pulverulento por lavagem na peneira de malha nº 200, conforme ANBT NBR NM 46:2003

De modo geral, as peneiras da série normal devem ser sempre utilizadas nos ensaios de agregado miúdo pois, os resultados expressos em termos dessas malhas são utilizados para fins de classificação granulométrica e determinação do módulo de finura, conforme definição da ABNT NBR 7211:2009. Contudo, para a classificação de agregado miúdo é utilizado as peneiras de série normal a partir da peneira de malha 4,75mm.

#### 2.1.3.2 Distribuição granulométrica

Conforme Mehta e Monteiro (2014), e Cincotto (1995) uma curva granulométrica adequada é essencial, pois influencia a trabalhabilidade e o custo das misturas, se uma areia muito grossa proporciona misturas ásperas e sem trabalhabilidade; areia muito fina exige maior consumo de água e cimento, sendo antieconômicas e agregados com granulometria contínua, ou seja, que não apresente grande falha ou excesso de qualquer dimensão dos grãos, produzem misturas mais trabalháveis e econômicas.

A área superficial do agregado está associada à sua granulometria, logo é um fator determinante na quantidade de água necessária para molhagem completa dos grãos, no volume relativo ocupado pelo agregado, na trabalhabilidade da mistura e na tendência à segregação. Portanto, segundo Neville (2015), a segregação pode ser definida como a separação dos constituintes de uma mistura heterogênea, onde sua distribuição deixe de ser uniforme.

De acordo com Haddad (2015), a ductilidade e a resistência mecânica dos materiais cimentícios são alteradas pela granulometria, pois ela impacta na existência ou não de vazios entre os materiais granulares e influencia o consumo de cimento, podendo, no caso de uma granulometria uniforme, produzir

compostos com alta porosidade e conseqüentemente comprometer no desempenho especificamente no sistema de revestimento argamassado.

Os estudos realizados por Carneiro e Cincotto (1999) mostraram que as argamassas com menor consumo de água apresentaram maiores resistências mecânicas e módulos de deformação. Logo, Cincotto *et al.* (1995) demonstraram à influência benéfica da granulometria contínua da areia nos efeitos da retração da argamassa, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Influência da areia na retração da argamassa

<b>Tipos de areia</b>	<b>Retração (%)</b>
Areia normalizada pela BS 1200	0,04
Areia fina com granulometria contínua	0,07
Areia grossa com granulometria descontínua	0,08
Areia fina com granulometria descontínua	0,11

Fonte: CINCOTTO *et al.* (1995).

Tão logo Sabbatini (1998), apresenta na Tabela 4 um resumo qualitativo referente a influência dos parâmetros granulométricos nas principais propriedades das argamassas. O termo “variável” é conceituado quando não existe uma influência definitiva ou quando essa influência depende de outros fatores.

Tabela 4 - Influência da granulometria da areia nas propriedades das argamassas.

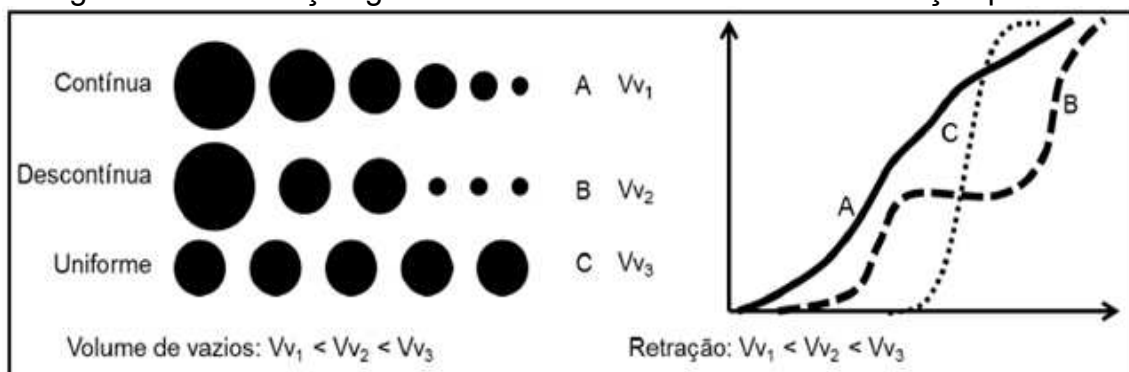
<b>Propriedade</b>	<b>Características da Areia</b>		
	<b>Quanto menor o módulo de finura</b>	<b>Quanto mais descontínua for a granulometria</b>	<b>Quanto maior o teor de grãos angulosos</b>
Trabalhabilidade	Melhora	Piora	Piora
Retenção de água	Melhora	Variável	Melhora
Resiliência	Variável	Piora	Piora
Retração na secagem	Aumenta	Aumenta	Variável
Porosidade	Variável	Aumenta	Variável
Aderência	Piora	Piora	Melhora
Resistência mecânica	Variável	Piora	Variável
Impermeabilidade	Piora	Piora	Variável

Fonte: SABBATINI, 1998.

Desse modo, estudos realizados por Carasek (2007) e Isaias (2014) constataram que a análise granulométrica dos agregados determina o volume de vazios que deverá ser preenchido pela pasta aglomerante, de forma que um aumento da pasta potencializa a ocorrência de retração da argamassa. Por isso

a distribuição granulométrica das areias, principalmente o excesso de finos, influencia diretamente a retração. Logo, a distribuição granulométrica pode ser classificada em três tipos de curva: contínua, descontínua e uniforme, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Distribuição granulométrica e sua influência na retração plástica



Fonte: adaptado de Carasek (2007) e Isaias (2010).

### 2.1.3.3 Teoria do empacotamento dos grãos

Conforme concepção de Silva *et al.* (2004), a distribuição granulométrica e a morfologia dos agregados influenciam a densidade de empacotamento e as propriedades físicas dos materiais compósitos cimentícios. De acordo com Cincotto *et al.* (2012), a granulometria descontínua não produz o melhor empacotamento de partículas nem o menor índice de vazios, entretanto confere fluidez com menor teor de água de mistura em função da maior permeabilidade e de menor atrito interno das partículas de agregado, contudo ocasiona exsudação da mistura.

Estudos realizados por Gonçalves *et al.* (2007) mostraram que a resistência à compressão e a capacidade de absorção das argamassas são influenciadas pela densidade de empacotamento, de forma independente da distribuição granulométrica e da forma do agregado miúdo. Além disso, os estudos constataram que foi possível fabricar uma argamassa com agregado britado com 14,5% de material pulverulento que apresentou acréscimo de 23,5% na resistência, redução de 28% na absorção de água, sem comprometer a qualidade da trabalhabilidade, quando comparada à argamassa com agregado natural.

Para Peng *et al.* (2009) o empacotamento denso obtido por uma curva granulométrica contínua contribui para a otimização da distribuição das

partículas cujo fatores são importantes para o melhor desempenho dos compósitos cimentícios. Logo, favorece a uma mistura mais coesa e com menos vazios.

#### 2.1.3.4 Massa específica real e Massa unitária

De acordo com Neville e Brooks (2013), e Mehta e Monteiro (2014), os agregados naturais são porosos e a porosidade varia de 2 a 5%, dependendo da origem mineralógica. Para a dosagem dos compósitos cimentícios é importante ter conhecimento do volume referente às partículas dos agregados, inclusive os poros existentes nas próprias partículas. Sendo suficiente determinar a massa específica, que é definida pela relação entre a massa do material (incluindo os poros internos) por unidade de volume. A massa unitária é conceituada como a massa das partículas do agregado que ocupam uma unidade de volume. Os autores destacam que não há como empacotar os grãos de areia de forma que não haja nenhum espaço vazio entre eles.

A maioria dos agregados naturais comumente utilizados na construção civil possui massa específica entre  $2,6 \text{ g/cm}^3$  e  $2,7 \text{ g/cm}^3$  e massa unitária entre  $1,30$  a  $1,75 \text{ g/cm}^3$ , Mehta e Monteiro (2014).

Portanto, Frazão *et al.* (2007) afirmam que a depender da maneira como se arranjam os agregados, esses alcançaram uma maior ou menor compacidade pelo fato de a massa unitária pode ser também influenciada pela forma das partículas (lamelares, cúbicas ou esféricas). Logo vale ressaltar a influência do tipo de processo e equipamentos de britagem do agregado, o qual contribui na distribuição granulométrica.

#### 2.1.3.5 Porosidade, Absorção e Umidade superficial

A capacidade de absorção de um agregado pode ser utilizada para medir o grau aproximado de sua porosidade e resistência (METHA & MONTEIRO, 2014). Segundo Neville e Brooks (2013), a porosidade, a permeabilidade e a absorção de água interferem na aderência do agregado com a pasta de cimento. A absorção de água de um agregado é expressa em porcentagem e mostra o

acréscimo de massa de uma amostra seca em estufa após sua imersão em água durante vinte e quatro horas.

Assim que todos os poros do agregado estão preenchidos e inexistente filme de água na superfície (com a superfície seca), ele é dito saturado com superfície seca (SSS); quando o agregado está saturado e com umidade livre na superfície, ele está na condição úmida ou saturada; quando toda a água que evapora do agregado for removida por meio de fonte de aquecimento, por exemplo estufa a  $(105 \pm 5^\circ\text{C})$ , ele está na condição seca.

Deste modo a absorção efetiva é a quantidade de água necessária para levá-lo da condição seca ao ar para (SSS) e a umidade superficial é a quantidade de água que excede aquela suficiente para levá-lo à condição (SSS). No caso das areias, pode ocorrer o inchamento, que dependendo do teor de umidade e da composição granulométrica, causa aumento considerável do volume aparente do grão. Este fenômeno é mais comum nas areias finas, onde as partículas são mantidas separadas em função da tensão superficial da água, (METHA & MONTEIRO, 2014).

No entanto, a caracterização mineralógica do agregado pode influenciar na capacidade de absorção. As areias de gnaiss apresentam baixos índices de absorção, porosidade e uma massa específica em torno de 2,5 a 2,87 g/cm<sup>3</sup>, (ALVES, 1999).

#### 2.1.3.6 Forma, Textura e Aderência

O formato dos grãos e a sua textura superficial influenciam nas propriedades da mistura tanto no estado fresco como no endurecido. Segundo Mehta e Monteiro (2014), os grãos dos agregados podem apresentar diversos formatos, tais como: alongado, anguloso, lamelar ou achatada e arredondado.

Visto que as areias naturais são geralmente arredondadas em função do desgaste por atrito que culmina na perda das arestas, já as areias britadas são normalmente, influenciadas pela origem mineralógica e pelo tipo e processo de britagem. A forma arredondada dos agregados, de acordo com Bauer (2015) e Carasek (2007), melhora a compacidade, a trabalhabilidade das argamassas e interfere no ângulo de atrito interno.

Bem como a textura está relacionada ao aspecto visual do agregado e informa o quanto a sua superfície é lisa ou áspera. Nas primeiras idades, a

resistência à flexão dos compósitos cimentícios é favorecida pela textura áspera do agregado em função da maior aderência mecânica formada entre a pasta de cimento e o agregado, mas em idades mais avançadas, a ocorrência de uma aderência química mais forte diminui a importância da aderência física garantida pela textura (MEHTA e MONTEIRO 2014).

#### 2.1.3.7 Resistência à compressão e Módulo de elasticidade

Neville e Brooks (2013) recomendam que a resistência à compressão de um compósito cimentício não pode ser muito superior à resistência do agregado. No entanto o ensaio para determinar a resistência à compressão dos agregados não é uma prática comumente utilizada, logo a mesma pode ser estimada indiretamente por meio dos valores de resistência à compressão de uma amostra de compósito cimentício, concreto por exemplo. De modo que, se os grãos apresentarem fragmentados após rompimento do corpo de prova, conclui-se que o agregado possui resistência inferior à resistência à compressão nominal do compósito.

O módulo de elasticidade é um parâmetro importante para aplicação de materiais, uma vez que está ligado a propriedades mecânicas, como tensão de escoamento, a tensão de ruptura, variação de temperatura que causam trincas, como o choque térmico, e essas propriedades são intrínsecas do material e estão relacionadas com sua composição química, sua microestrutura e seus defeitos, como a porosidade (COOSOLINO & PEREIRA, 2010).

O módulo de elasticidade, assim como a resistência à abrasão e à compressão dos agregados estão inter-relacionadas, e são altamente influenciados pela porosidade (MEHTA e MONTEIRO, 2014). De forma que um agregado poroso geralmente apresenta baixo valor de módulo de elasticidade (NEVILLE e BROOKS, 2013). Pois quanto maior o valor do módulo, maior será o poder de contenção da fluência da pasta de cimento hidratado que o agregado exerce sobre ela. Logo misturas cimentícias compostas por agregados de rochas ígneas como os gnaisse tendem a apresentar maiores valores de módulo de elasticidade.

#### 2.1.3.8 Materiais Pulverulentos (Microfinos)

Os materiais pulverulentos também conhecidos por alguns autores Weidmann (2008) e Bauer (2015) como microfinos, é definido como a fração com dimensão inferior a  $75\mu\text{m}$  ( $0,075\text{mm}$ ), sendo normalmente quantificado em processo de lavagem do agregado em uma peneira malha número 200 (NBR NM 46:2003 e ASTM C 117 – 90).

Este tipo de ensaio é empregado porque a fração fina adere-se às partículas maiores, normalmente não sendo possível separá-la por peneiramento a seco. No processo de lavagem, o agregado é colocado em um recipiente com água e agitado para que as partículas finas fiquem em suspensão. Em seguida, a solução é vertida na peneira  $75\mu\text{m}$ , separando assim o material passante do material retido.

No entanto, existem ainda outros procedimentos para avaliação do teor de material fino em agregados. Segundo Weidmann (2008), as normas britânicas adotam processo de sedimentação para avaliar este material, sendo o procedimento descrito na BS 812: Seção 103.2. Já a norma rodoviária ME 054:1997 do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), padroniza um ensaio que pode ser realizado inclusive no campo, para determinação da quantidade de materiais finos argilosos, denominado pela norma de “equivalente em areia”, de solos e agregados miúdos. Neste ensaio, uma amostra do material passante na peneira  $4,75\text{mm}$  é agitada em uma proveta contendo uma solução padrão. O material fino que ficará em suspensão com a agitação sedimentará em uma camada em cima da areia e a altura dessa camada pode ser expressa em porcentagem da altura da areia (relação de volume unitário). Procedimento semelhante é apresentado também por Neville (2015), porém este utilizado de forma expedita, semelhante ao método da sedimentação do agregado por meio de um recipiente, popularmente, utilizado em uma garrafa plástica, “método da garrafinha”.

Visto que as normas que especificam os agregados para concreto, apresentam limites máximos com relação ao teor de material pulverulento que pode estar presente nos agregados, tanto miúdos quanto graúdos. Na Tabela 5 são apresentados os limites máximos aceitáveis pelas normas brasileiras e americanas, para os teores de material pulverulento determinados pelo ensaio de lavagem na peneira  $75\mu\text{m}$ . Essas normas fazem uma ressalva quanto aos agregados miúdos oriundos de britagem de rochas, agregados artificiais, permitindo para esses casos um teor um pouco maior de microfinos. Desde que

comprovada sua não interferência na qualidade do concreto, entretanto esses parâmetros não se aplicam aos traços das argamassas.

Apesar de haver uma tolerância maior para os agregados de britagem, observa-se que a norma americana é bastante conservadora quanto ao limite de microfinos. Logo, estes parâmetros normativos servem como um balizador dos limites aceitáveis de materiais pulverulento, para a aplicabilidade de um determinado tipo de agregado miúdo no desenvolvimento de argamassa, principalmente quanto a sua origem, sendo que as normas técnicas brasileiras de argamassas industrializadas não parametrizam um limite de utilização de agregados com presença de material pulverulento.

Tabela 5 - Limites do teor de material pulverulento passante na peneira de nº 200 por lavagem para a norma brasileira e americana.

Agregados / Condição de exposição		NBR 7211:2009	ASTM C33-03
Miúdo	Concreto submetido a desgaste superficial (abrasão)	3,0% podendo chegar a 10%	3,0% podendo chegar a 5,0%
	Concretos protegidos do desgaste superficial	3,0% podendo chegar a 12%	3,0% podendo chegar a 7,0%
Graúdo		1,0% podendo chegar a 2,0%	1,00%
Total		6,50%	*

Fonte: adaptação ABNT NBR 7211:2009 e ASTM C 33-03

## 2.2 Cimento *Portland*

Cimento *Portland* pode ser conceituado como um aglomerante com granulometria muito fina, que possuem propriedades ligantes e, que, após misturados com água, adquirem propriedades cimentantes devido a reações químicas que ocorrem entre seus componentes e a água (ISAIA, 2010). A ABNT NBR NM 23:2000 define Cimento *Portland* como um cimento hidráulico produzido pela moagem de clínquer constituído essencialmente por silicatos de cálcio hidratados e uma pequena quantidade de uma ou mais formas de sulfatos de cálcio.

Trata-se de um pó finamente moído com propriedades aglomerantes e ligantes, que endurece sob a ação da água e depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água, o Cimento *Portland* não se

decompõe mais. Visto que podem possuir adições de materiais em sua composição tais como fíler, escória e pozolana conforme a característica de cada tipo de Cimento *Portland*.

Embora as argamassas industrializadas do tipo estabilizadas caracterizam-se por maior tempo de trabalhabilidade no estado fresco, podendo ser desenvolvidas para permanecerem plástica até 72 horas após a mistura de água (BAUER, 2015). Não obstante, o Cimento *Portland* mais utilizado pelos fabricantes de argamassas estabilizadas, particularmente na região metropolitana de Belo Horizonte, é do tipo CP V ARI (Alta Resistência Inicial). Pois é um cimento mais estável com relação a ausência de adições em sua composição, comparado com os demais tipos de Cimento *Portland*. Bem como apresentam melhores compatibilidade química com os aditivos estabilizadores de hidratação e incorporadores de ar (OLIVEIRA, 2017).

## **2.3 Aditivos**

Aditivos são substâncias adicionadas durante o processo de mistura, geralmente em pequenas quantidades (em geral até 5% da massa de cimento) mas também podendo ter o seu percentual calculado sobre a massa total da mistura (especificamente para argamassa no estado anidro). Substâncias essas as quais alteram determinadas propriedades das argamassas, tanto no estado fresco quanto no endurecido (HARTMANN *et al*, 2011). A seguir, serão apresentados os aditivos mais utilizados no desenvolvimento de argamassa de revestimento, especificamente as estabilizadas: redutores de água, incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação.

### **2.3.1 Redutores de água (plastificantes e superplastificantes)**

Segundo ABNT NBR 11768: 2011, os plastificantes/redutores de água são aditivos que permitem aumentar a fluidez do concreto ou argamassa, sem alterar sua quantidade de água, podendo reduzir a água de mistura do concreto em no mínimo 5%, sem modificar sua consistência. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), esta redução de água pode chegar até 25% com superplastificante, sendo constituído estruturalmente por moléculas de policarboxilatos. A norma ainda define os superplastificantes de forma similar

aos plastificantes, apenas ressaltando a maior intensidade dos efeitos nos superplastificante. Esses devem promover uma redução de no mínimo 12% da água de amassamento para obter uma mesma trabalhabilidade, conforme Hartmann *et al.* (2011), essa redução pode chegar até 40%.

Além dos dois tipos redutores de água citados, existem os aditivos conhecidos como polifuncionais. Esses apresentam um desempenho intermediário entre os plastificantes e superplastificantes, permitindo uma redução de água entre 5% e 18%. Apesar de não existirem normas específicas para classificá-los. No entanto são os aditivos mais empregados atualmente em centrais dosadoras de concreto (HARTMANN *et al.*, 2011).

Desta forma, para Hartmann *et al.* (2011), a utilização desses aditivos tem como finalidade reduzir o consumo de água para uma mesma consistência (aumentando a resistência e durabilidade), aumentar a fluidez e trabalhabilidade da argamassa sem elevar o consumo de água e, conseqüentemente, elevar a resistência mecânica. E podendo até reduzir a quantidade de cimento, mantendo a relação água/cimento constante (reduzindo a retração, fluência e tensões térmicas, além dos custos).

Contudo nas formulações das argamassas estabilizadas procura-se evitar o uso dos aditivos redutores de água por questões econômicas, tendo como primeira opção o desenvolvimento e escolha de agregado miúdo com uma granulometria adequada, curva contínua de preferência, e rochas menos friáveis para reduzir o teor de materiais pulverulentos. Embora segundo Bauer *et al.* (2015), caso seja necessário o uso desses aditivos geralmente deve optar por polifuncionais que apresentam melhor custo benefícios em relação aos outros redutores de água.

### **2.3.2 Incorporador de Ar (IA)**

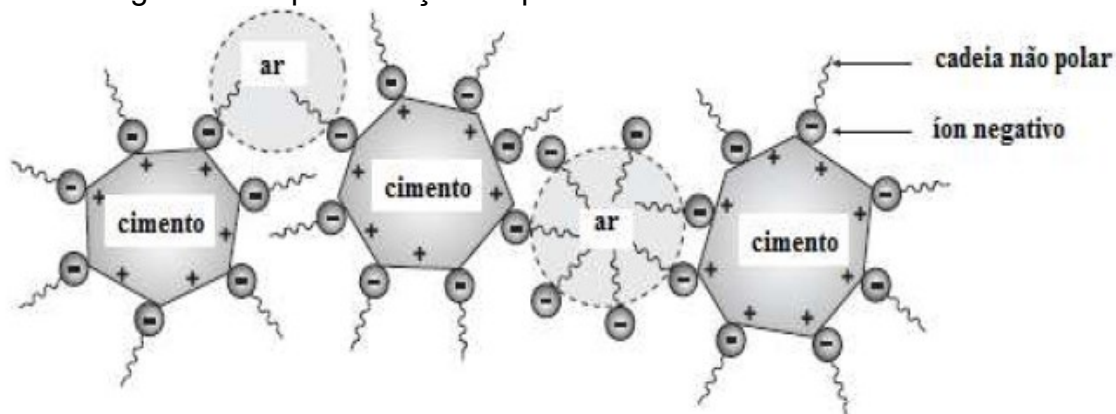
Os aditivos incorporadores de ar (IA) são agentes tensoativos que diminuem a tensão superficial da água para facilitar a formação de bolhas e garantem que elas sejam estáveis. Os (IA) concentram-se nas interfaces ar/água e têm propriedades hidrofóbicas (repelentes à água) e hidrófilas (atraem água) que são responsáveis pela dispersão e estabilização das bolhas de ar. (NEVILLE e BROOKS, 2013).

Como os (IA) são tensoativos aniônicos quando adicionados às pastas de cimento, tendem a fixar nas partículas sólidas da pasta, por meio da sua parte polar, com a parte apolar voltada para a parte aquosa, dando um caráter hidrofóbico às partículas de Cimento *Portland*, (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Sendo assim segundo Romano (2013), a extremidade apolar da molécula geralmente é uma cadeia hidrocarbônica, enquanto a extremidade polar é aniônica. Dessa maneira os incorporadores de ar mostram uma forte tendência de migrar para interfaces, de modo que o grupo polar se encontre em contato com a fase líquida e o grupo apolar se encontre orientado para o ar, solvente orgânico ou partícula.

Conforme Mehta e Monteiro (2014), explicam que na interface ar-água os grupos polares são orientados para a fase aquosa diminuindo a tensão superficial, promovendo a formação de bolhas e neutralizando a tendência para as bolhas dispersas se unirem. Visto que na interface água-sólida onde existem forças diretivas na superfície do cimento, os grupos polares se ligam ao sólido com os grupos não polares orientados para a água, tornando a superfície do cimento hidrofóbica para que o ar possa deslocar a água e permanecer ligado às partículas sólidas como bolhas, Figura 2.

Figura 2 - Representação esquemática dos mecanismos dos IA.



Fonte: Adaptada de Mehta e Monteiro (2008).

Logo os (IA) são empregados nas argamassas estabilizadas no intuito de melhorar a plasticidade, uma vez que a incorporação de ar aumenta a estrutura interna (coesão), pois em alguns casos a quantidade de finos proveniente dos aglomerantes e até mesmo do agregado, é inferior em relação as argamassas mistas. Sendo assim a presença de (IA) na mistura contribui para a

trabalhabilidade da argamassa, tornando-se mais leve (HARTMANN *et al.*, 2011).

Contudo é importante ficar atento ao uso excessivo deste aditivo. Pois segundo Carasek (2007), apesar de melhorar as características da mistura no estado fresco, a presença de incorporador de ar geralmente reduz a resistência mecânica e a aderência da argamassa ao substrato (em seu valor e extensão de área de aderência), já que a presença de bolhas aumenta o teor de vazios e provoca uma redução na superfície de contato da interface argamassa e substrato.

Por isso a dosagem desse aditivo deve ser feita cuidadosamente para não prejudicar o desempenho do sistema de revestimento, principalmente quando utilizados em argamassas estabilizadas.

### **2.3.3 Aditivo estabilizador de hidratação (AEH)**

Os aditivos estabilizadores de hidratação também conhecido e identificado como (AEH), têm a função de retardar a hidratação inicial dos grãos de cimento, atuando na redução da dissolução dos constituintes anidros e da cristalização dos compostos hidratados. No entanto, após a pega, não interferem no processo de endurecimento. Devido a sua composição (ácidos e açúcares), tendem a plastificar a mistura contribuindo para melhor coesão da mesma (BAUER, 2015).

Assim com o aumento da superfície de contato entre o grão de Cimento *Portland* e as partículas de água, contribui para a hidratação do mesmo, resultando na melhor formação dos cristais e elevação da compacidade estrutural da pasta e, conseqüentemente, um aumento da resistência mecânica em idades superiores, bem como menor permeabilidade e fissuração. (BAUER *et al.*, 2013 e HARTMANN *et al.*, 2011). A ABNT NBR 11768:2011 especifica que os aditivos retardadores devem proporcionar à mistura um tempo de início de pega de no mínimo 90 minutos e no máximo 360 minutos maior que uma mistura de controle (idêntica, sem o aditivo).

Ao contrário dos retardadores convencionais, o (AEH) empregado na produção da argamassa estabilizada pode ser utilizado em dosagem um pouco mais elevada, sem efeitos adversos, se comparado com os demais retardadores de pega, que podem impactar negativamente na resistência mecânica da

argamassa e conseqüentemente no sistema de revestimento, (RIXOM e MAILVAGANAM, 1999).

A aplicação de retardadores permite o desenvolvimento de uma microestrutura mais densa devido ao crescimento retardado de cristais do silicato de cálcio hidratado (DAAKE; STEPHAN, 2016).

Conforme Rixom e Mailvaganam (1999), o retardo de hidratação do Cimento *Portland* na mistura é obtido agindo em todas as fases de hidratação do mesmo, incluindo a fração do aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A).

Segundo Ramachadran (2002), em seus estudos, testou diferentes fosfonatos e em seus resultados comprovou que o ácido metileno-fosfônico, foi o retardador mais eficiente em pastas de cimento, onde conseguiu aumentar o período de indução de uma pasta de cimento de 3 horas (mistura de referência) para mais de 72 horas utilizando apenas 0,09% do aditivo em peso de cimento, tempo de retardo este que também é utilizado como limite de parâmetro para alguns tipos de argamassas estabilizadas.

Deste modo conforme Ramos *et al.* (2013), o aumento do teor de aditivo indica alteração na cinética do aumento de temperatura com o tempo, de forma que quanto maior o teor de aditivo, menor a temperatura atingida durante a hidratação e mais lento é o ganho e a dissipação do calor gerado, por isso que as argamassas com maior tempo de estabilização apresentam menor temperatura do calor de hidratação.

## **2.4 Argamassa para Construção Civil**

### **2.4.1 Considerações iniciais**

As argamassas são materiais de construção civil com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais (CARASEK, 2007). As argamassas são empregadas com diversas finalidades na construção civil (assentamento de alvenarias, revestimento, assentamento de peças cerâmicas, regularização de superfícies, entre outras). Embora o presente trabalho irá tratar apenas da argamassa industrializada estabilizada, aplicada ao sistema de revestimento.

## 2.4.2 Argamassa Estabilizada

A argamassa estabilizada é uma argamassa dosada em central úmida, pronta para utilização. Dependendo de sua composição ela se mantém aplicável durante 24, 36 e 72 horas (considerando as últimas 12 horas). O processo de dosagem é automatizado, os aditivos inseridos em sua formulação, além de dar maior trabalhabilidade e retenção de água, têm como função estabilizar a hidratação do aglomerante utilizado na mistura. Por isso essa argamassa tem o seu tempo de utilização prolongado mesmo já estando com água na sua mistura, (BAUER, *et al*, 2015)

Segundo Casali *et al.* (2011), as primeiras produções de argamassas estabilizadas iniciaram na Alemanha, por volta de 1970, com a utilização de aditivos que garantissem as propriedades da mistura no estado fresco por até três dias. No entanto essa tecnologia só foi importada para o Brasil em meados de 1985, especificamente na cidade de São Paulo. Contudo essa técnica produtiva de argamassa industrializada ainda é pouca difundida nacionalmente, restringindo-se apenas aos grandes centros urbanos.

A maior parte dos fabricantes de argamassa estabilizada recomenda ao receber a argamassa na obra em caixas que contém a mistura que não serão utilizadas no momento, deverão ter a superfície da mistura alisada e em seguida aplicar uma lâmina de água de 2cm. Quando a mesma for utilizada, esta água deve ser removida, e após mistura-se a argamassa superficialmente antes de sua reutilização.

A argamassa estabilizada já vem pronta para o uso, sendo proibida a adição de qualquer outro insumo na mistura, inclusive água. A quantidade correta de água na mistura garante que a argamassa terá a resistência desejada após endurecida. E também diminui os riscos de aparecimento de fissuras de retração, causados na maioria das vezes, por excesso de água adicionada.

Deste modo, a distribuição da argamassa é realizada por meio de caminhões betoneira, depositando a argamassa pronta para o uso em caixas, geralmente plásticas diretamente na obra. Essas caixas funcionam como recipiente de medida e controle dos volumes utilizados, e também como distribuição da argamassa pela obra.

A ABNT NBR 13529:2013 classifica as argamassas de acordo com o seu fornecimento ou preparo, em: argamassas produzidas em obra, argamassas

industrializadas, argamassas dosadas em central e misturas semipronta para argamassas, conforme elencadas na Tabela 6.

Tabela 6 Classificação das argamassas para revestimentos de paredes e tetos, quanto ao fornecimento ou preparo.

<b>Argamassa dosada em central</b>	Os materiais constituintes são medidos e misturados em central dosadora, fornecida no estado fresco, pronta para uso.
<b>Argamassa preparada em obra</b>	Os materiais constituintes são medidos e misturados na própria obra.
<b>Argamassa industrializada</b>	Proveniente de processo controlado e dosagem precisa, em instalação industrial, fornecida embalada ou a granel.
<b>Mistura semipronta para argamassa</b>	Mistura fornecida embalada ou a granel, cujo preparo é completado em obra, por adição de aglomerante e, eventualmente, aditivos.

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 13529:2013.

De acordo com Oliveira (2017), as argamassas produzidas em obras demandam seleção, recebimentos e estocagem de materiais (cimento, cal, agregados e aditivos), necessitam de mão de obra para o descarregamento, preparo e transporte dos materiais, além da confecção dos produtos em misturadores. Todas essas etapas demandam controle e conseqüentemente, representam menores produtividades nos canteiros de obra.

No entanto, para as argamassas industrializadas ensacadas, a logística e a distribuição no canteiro de obras são facilitadas, uma vez que a estocagem dos materiais é eliminada, além de diminuir o desperdício, o que reflete em ganhos de produtividade e redução no tempo de execução. Contudo, estas argamassas exigem controles extras quando se trata do teor de água e tempos de misturas, principalmente pela facilidade de incorporação de ar, evidenciado pelo excesso de tempo de mistura e/ou quantidade de aditivos (ROMANO *et al*, 2009). Enfatiza-se a complexidade dessas argamassas em função da pouca informação, por parte dos fabricantes, sobre o tipo e teor de aditivo encontrado nas embalagens (RODRIGUES FILHO, 2013).

Já as argamassas estabilizadas se enquadram na classificação de uma argamassa dosada e produzida em central e se apresenta como um material que reflete em ganhos de produtividade, uma vez que reduz a logística no canteiro de obras etapa de estocagem, dosagem e mistura. Entretanto, as especificações de valores e propriedades necessitam de atenção, pois demandam critérios

quanto ao seu comportamento diante da evolução de seu tempo de estabilização, que são dependentes de suas formulações e de seus materiais constituintes, (OLIVEIRA, 2017).

Autores como Bauer (2015) e Oliveira (2017), ressaltam que é evidente o ganho de produtividade das argamassas industrializadas e dosadas em centrais, sendo estas produzidas em larga escala, com materiais devidamente selecionados com controle tecnológico e disponibilidade de acompanhamento por assistência técnica.

#### 2.4.2.1 Análise da formulação da Argamassa Estabilizada

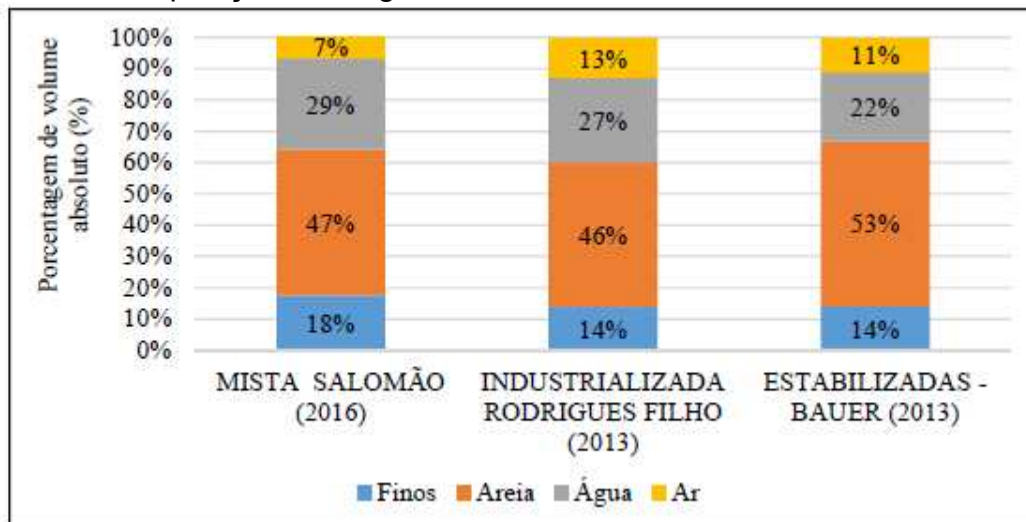
É importante compreender como as formulações das argamassas, em específico as metodologias de dosagem dos materiais constituintes e os parâmetros de aplicação, afetam as propriedades e características da mistura. A qual deve atender os requisitos necessários para o bom desempenho do sistema de revestimento.

Segundo Oliveira (2017), as argamassas industrializadas, normalmente apresentam poucas informações técnicas sobre suas matérias-primas (quantidade e origem), embora seja utilizado o Cimento *Portland*, areias naturais ou britadas e aditivos. Este tipo de composição de materiais previamente selecionados e controlados tecnologicamente, contribuem para que as argamassas industrializadas apresentem melhores resultados de resistência mecânica e baixo valor de coeficiente de capilaridade.

Visto que as argamassas estabilizadas empregam areias mais finas, com módulo de finura menor, as mesmas apresentaram maior plasticidade da mistura. As argamassas mistas (cimento e cal) e industrializadas apresentam composições diferentes quanto ao teor de finos, principalmente oriundos dos agregados naturais, quando comparadas as argamassas estabilizadas.

Logo, para fins de comparação, o Gráfico 1 apresenta a composição dos constituintes em percentual para a argamassa mista, industrializadas e estabilizada conforme estudos realizados pelos autores Salomão (2016), Rodrigues Filho (2013) e Bauer (2013), no Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília (LEM-UnB):

Gráfico 1 Composição das argamassas mistas, industrializadas e estabilizadas



Fonte: Adaptadas de Salomão (2016), Rodrigues Filho (2013) e Bauer (2013).

Conforme os dados apresentados no Gráfico 1, provenientes dos estudos realizados pelos autores já citados anteriormente, podemos destacar alguns pontos relevantes, tais como:

- A argamassa mista apresentou um percentual de finos maior em relação a argamassa Industrializada e Estabilizada, logo refletiu no aumento do consumo de água. Contudo esse maior consumo de finos da argamassa mista consiste na adição de aglomerante aéreo (cal) juntamente com o Cimento *Portland*.
- A argamassa mista apresentou um volume de ar incorporado inferior às outras misturas, logo também justificado pelo excesso de finos.
- Vale ressaltar que a argamassa estabilizada apresentou menor consumo de água comparado com as outras misturas e ainda obteve um volume de ar incorporado superior a argamassa mista e próximo da argamassa industrializada, logo esse resultado pode ser compreendido pela performance dos aditivos, incorporado de ar e estabilizador de hidratação, tendendo a contribuir positivamente para um bom desempenho das propriedades físicas e mecânicas da mistura.

### 2.4.3 Parâmetros de controle das argamassas

Os parâmetros de controle são propriedades ou características que a argamassa deve atender para que o sistema de revestimento tenha o desempenho especificado (BAUER, 2013). No caso do estado fresco os

parâmetros de controle são a consistência, a densidade e a incorporação de ar, bem como a retenção de água.

O CSTB (1993) informa as especificações mínimas e adicionais para determinadas condições de aplicação, o que exemplifica os parâmetros de controle para as argamassas de revestimentos, conforme Tabela 7.

Tabela 7 Parâmetros mínimos de controle para as argamassas de revestimentos.

<b>Características</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Classificação</b>	<b>Especificação Mínima</b>	<b>Especificações adicionais p/ algumas aplicação</b>
Módulo de elasticidade (MPa)	E	E1 < 5000 3500 > E2 < 7000 5000 > E3 < 10000 7500 > E4 < 14000 12000 > E5 < 20000 E6 > 16000	E ≤ 4	Em paredes muito exposta a choques: E ≥ E3. Para aplicar revestimento cerâmicos colados E ≥ E4
Resistência à tração na flexão (MPa)	R <sub>t</sub>	R1 < 1,5 1,0 > R2 < 2 1,5 > R3 < 2,7 2,0 > R4 < 3,5 2,7 > R5 < 4,5 R6 > 3,5	R ≤ 3	Em paredes muito exposta a choques: R ≥ R3. Para aplicar revestimento cerâmicos colados R ≥ R4
Retenção de água (%)	U	U1 < 78 72 > U2 < 85 80 > U3 < 90 86 > U4 < 94 91 > U5 < 97 95 > U6 < 1000	U ≥ 3	Para aplicar em tempo muito quente e seco U5 ou U6
Coefficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> , min. <sup>1/2</sup> )	C	C1 < 1,5 1,0 > C2 < 2,5 2,0 > C3 < 4,0 3,0 > C4 < 7,0 5,0 > C5 < 12 C6 > 10	C ≤ 3	Para aplicar em parede muito exposta à chuva: C1 ou C2

Fonte: Adaptada CSTB (1993).

Por conseguinte, a ABNT NBR 13281:2005 é uma norma apenas de classificação das argamassas quanto aos requisitos exigíveis para utilização em assentamento e revestimento de paredes e tetos, porém não associa a critérios de emprego e utilização e assim especificou em sete propriedades, subdivididas em seis classes, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 Faixas de classificação conforme características e propriedades determinadas pelos métodos de ensaios das argamassas para assentamento e revestimentos paredes e tetos.

<b>Classes</b>	<b>P (MPa)</b>	<b>M (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>R (MPa)</b>	<b>C (g/dm<sup>2</sup>,min.<sup>1/2</sup>)</b>	<b>D (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>U (%)</b>	<b>A (MPa)</b>
Método de ensaio	ABNT NBR 13279	ABNT NBR 13280	ABNT NBR 13279	ABNT NBR 15259	ABNT NBR 13278	ABNT NBR 13277	ABNT NBR 15258
1	≤ 2,0	≤ 1200	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1400	≤ 78	< 0,20
2	1,5 a 3,0	1000 a 1400	1,0 a 2,0	1,0 a 2,5	1200 a 1600	72 a 85	≥ 0,20
3	2,5 a 4,5	1200 a 1600	1,5 a 2,7	2,0 a 4,0	1400 a 1800	80 a 90	≥ 0,30
4	4,0 a 6,5	1400 a 1800	2,0 a 3,5	3,0 a 7,0	1600 a 2000	86 a 90	
5	5,5 a 9,0	1600 a 2000	2,7 a 4,5	5,0 a 12,0	1800 a 2200	91 a 97	
6	> 8,0	> 1800	> 3,5	> 10,0	> 2000	95 a 100	

**Legenda:** **P**- resistência à compressão; **M**- densidade de massa aparente no estado endurecido; **R**- resistência à tração na flexão; **C**- coeficiente de capilaridade; **D**- densidade de massa no estado fresco; **U**- retenção de água; **A**- resistência potencial de aderência à tração

Fonte: Adaptada da ABNT NBR 13281:2005.

Logo, essas faixas de valores de propriedades aplicam-se a qualquer tipo de argamassa, sejam argamassas convencionais ou industrializadas e estabilizadas. A ABNT NBR 13281:2005 não tem aplicação quanto aos parâmetros de controle consolidados, na forma de associação com as funcionalidades e especificidades de um projeto de sistema de revestimento.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1 Considerações Iniciais**

Buscando atender os objetivos propostos nessa pesquisa, o critério de escolha e seleção dos materiais levou em conta os relatos dos principais produtores e fabricantes, tanto de matérias-primas quanto de argamassas industrializadas, da região metropolitana de Belo Horizonte, os quais afirmaram que os insumos mais utilizados conforme viabilidade técnica econômica para a produção das argamassas estabilizadas são: Cimento *Portland* tipo CP V ARI, agregado miúdo areia industrializada de origem gnaiss e/ou calcária e aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação.

### **3.2 Materiais**

#### **3.2.1 Aglomerante**

O aglomerante utilizado nas variações das dosagens da argamassa estabilizada foi o Cimento *Portland* CP V ARI, fabricado na região metropolitana de Belo Horizonte. Sendo as características físicas e químicas desse material apresentadas no Laudo Técnico disponibilizado pelo fabricante, conforme ANEXO 1.

#### **3.2.2 Aditivo**

Os Aditivos utilizados foram Incorporador de Ar e Estabilizador de Hidratação do Cimento *Portland*. Sendo que as composições químicas desses aditivos constam em Ficha Técnica disponibilizada pelo fabricante, conforme ANEXO 2 e ANEXO 3.

#### **3.2.3 Agregado**

O agregado utilizado foi uma amostra de areia artificial média oriunda de rocha gnaiss, proveniente de uma pedreira da região metropolitana de Belo Horizonte, produzida por meio de um britador de eixo vertical tipo (VSI), conforme processo produtivo por via úmida.

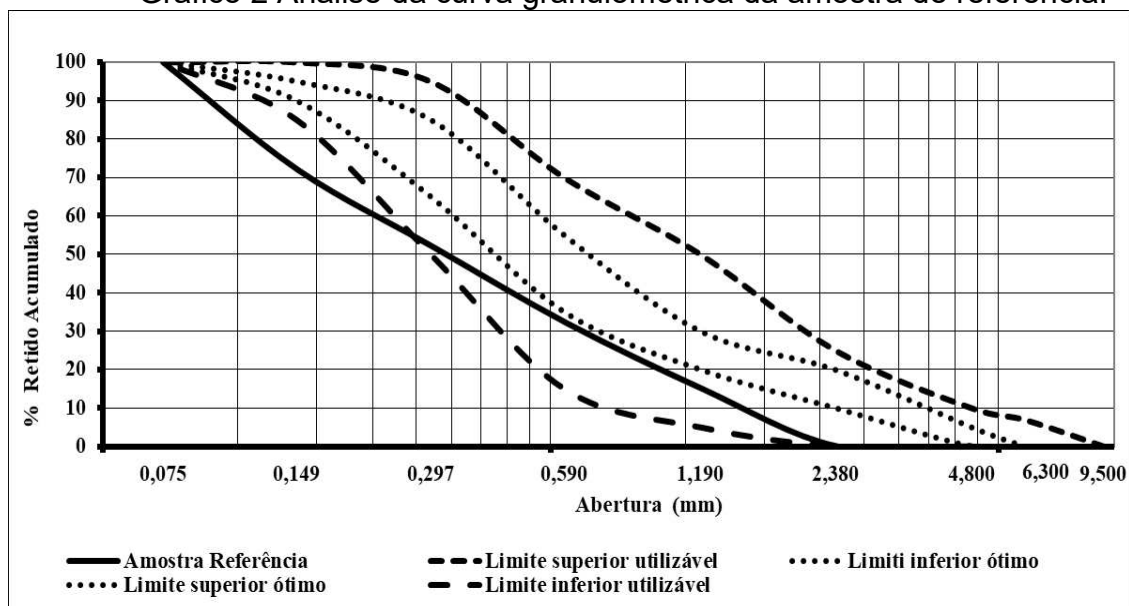
O ensaio de caracterização da areia consistiu em análise da distribuição granulométrica conforme a ABNT NBR 7211:2009 a qual a curva granulométrica consta no Gráfico 2. Os resultados da análise de diâmetro máximo característico, teor de material pulverulento, módulo de finura, massa específica real e massa específica unitária solta estão presentes na Tabela 9. A análise da distribuição granulométrica das variações das amostras das areias está presente na Tabela 10.

Tabela 9 - Caracterização da areia.

Ensaio	Resultados
Diâmetro máximo (ABNT NBR 7211:2009)	2,4 (mm)
Teor de material pulverulento (ABNT NBR NM 46:2003)	12 (%)
Módulo de Finura (ABNT NBR 7211:2009)	1,91
Massa específica real (ABNT NBR NM 52:2009)	2,67 (g/cm <sup>3</sup> )
Massa específica unitária solta (ABNT NBR NM 45:2006)	1,52 (g/cm <sup>3</sup> )

Fonte: Autor (2019)

Gráfico 2 Análise da curva granulométrica da amostra de referência.



Fonte: elaborado pelo autor, 2020.

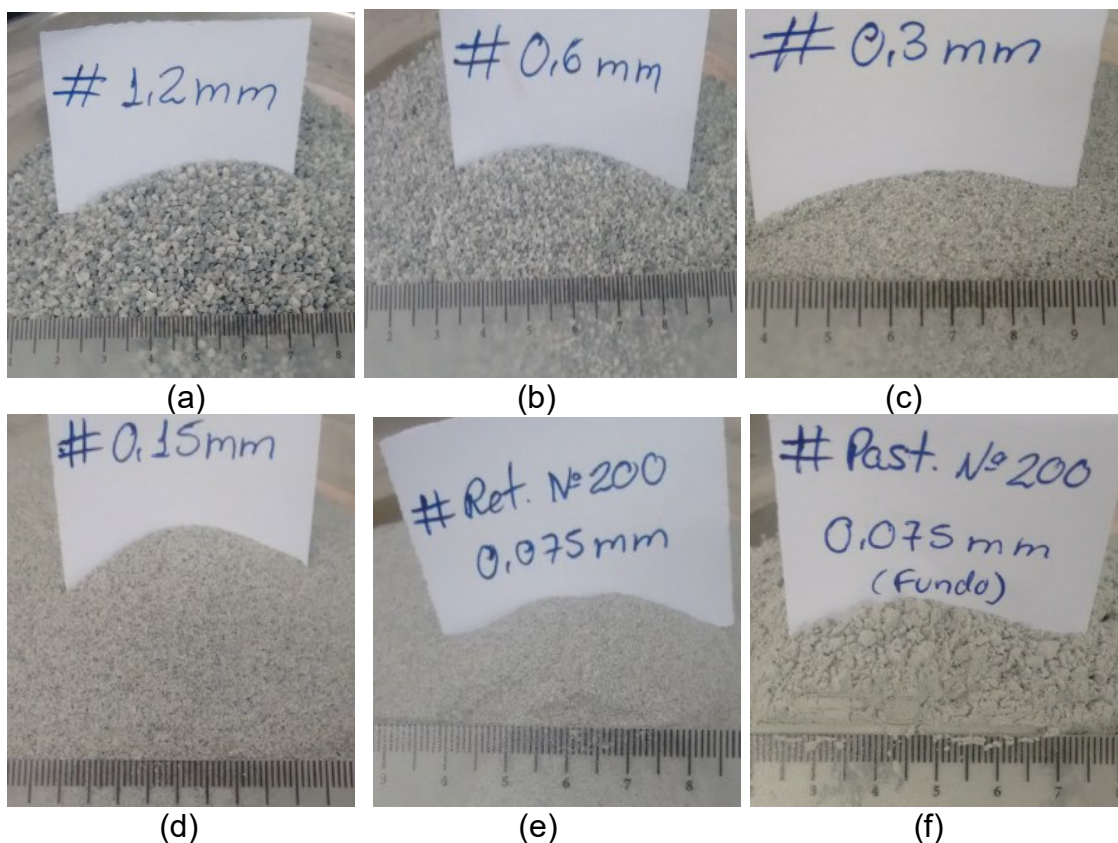
Tabela 10 - Distribuição granulométrica das amostras de areia.

Peneiras (abertura - mm)	% Retido Acumulado.			
	Amostra Ref.	Amostra MP-0	Amostra MP-15	Amostra MP-30
4,8	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2,4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
1,2	15,00%	17,00%	14,00%	11,00%
0,6	33,00%	37,00%	31,00%	25,00%
0,3	53,00%	59,00%	50,00%	41,00%
0,15	73,00%	81,00%	69,00%	57,00%
0,075	90,00%	100,00%	85,00%	70,00%
<0,075	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Fonte: elaborado pelo autor, 2020.

A Figura 3 ilustra a forma e dimensão do agregado conforme cada fração do diâmetro retido em cada peneira, utilizada como parâmetro de composição da curva granulométrica.

Figura 3 - Imagem da forma dos agregados artificiais conforme as frações de cada peneira retida nas respectivas malhas (a) 1,2mm; (b) 0,6mm; (c) 0,15mm; (d) retido 0,075mm; (e) < 0,075mm.



Fonte: acevo do autor (2019)

### **3.2.4 Água**

A água utilizada na mistura da argamassa foi potável, proveniente da rede abastecimento e distribuição do município de Matozinhos/MG e fornecida até o local aonde está localizado o laboratório de controle de qualidade do fornecedor de cimento, local onde foram realizados os ensaios da pesquisa.

## **3.3 Programa Experimental**

### **3.3.1 Concepção do Método de Trabalho**

Para a produção das argamassas estabilizadas foram empregados os seguintes materiais: Cimento *Portland* CP V ARI, aditivos (incorporador de ar e estabilizador de hidratação) areia britada de rocha gnaisse.

A amostra de referência coletada diretamente no fornecedor de areia, identificada como areia média, foi classificada após a secagem da mesma, cada tipo de fração granulométrica por meio de peneiramento manual em laboratório (sendo o corte do diâmetro máximo da amostra ocorre na peneira de malha 2,4mm, ou seja, foi utilizado apenas o material passante por essa malha). Separada determinada quantidade para a composição dos traços das argamassas, essas frações foram caracterizadas e classificadas conforme a abertura do material retido em cada peneira, de acordo com a dimensão das malhas, das seguintes séries de peneiras em milímetros: (1,2- 0,6- 0,3- 0,15- 0,075 e menor que 0,075).

Após o peneiramento de cada quantidade de material retido nas malhas das peneiras de classificação, todas as frações foram separadas conforme seus diâmetros característicos e lavadas em água corrente, e posteriormente secas em estufas (temperaturas de 105 °C) com objetivo de eliminar o máximo possível do resíduo de material pulverulento aglutinado aos grãos, idealizando uma quantidade máxima menor que 0,5% (em massa) de material pulverulento, além do que será pré-estabelecido.

As composições das variações das curvas granulométricas foram desenvolvidas tendo como referência a ABNT NBR 7211:2009, sendo cada variação granulométrica composta por uma quantidade proporcionalmente fixa, de cada fração com diâmetro nominal pré-estabelecido, conforme as malhas das

peneiras utilizadas na classificação. Logo a variação ocorreu apenas na quantidade de adição de material pulverulento, adicionada em cada variação granulométrica previamente desenvolvida, ou seja, esse percentual de adição de material microfinos passante pela peneira de malha nº 200, oriundos da própria amostra de areia utilizada durante o processo de classificação das frações peneiradas, foi substituído em percentuais de (0, 15 e 30%) em relação a massa total de agregado miúdo utilizado no traço de dosagem das argamassas.

Assim sendo, como parâmetro comparativo foi utilizado um traço padrão com as mesmas quantidades de materiais, sendo constituído com a amostra de areia de referência com 12% de material pulverulento, conforme comercializada pelo fornecedor, sem alteração nas frações granulométrica. Portanto, para melhor identificação das amostras das curvas granulométricas e suas respectivas variações de dosagem, foi adotada a nomenclatura de areia MP-0, MP-15 e MP-30 (areia MP-0 representa teor de material pulverulento igual a zero e assim sucessivamente incluindo a amostra de referência como Ref. MP-12).

A quantidade de água foi parametrizada em função do índice de consistência medido na mesa de *Flow Table* conforme ensaios da ABNT NBR 13276:2005. Foi definido como parâmetro um índice de consistência de  $300 \pm 10$ mm. Esse valor de consistência foi definido por meio de análise da trabalhabilidade da mistura, considerando como adequado essa consistência para uso e aplicação dessa mistura de argamassa como assentamento e revestimento de alvenaria, parâmetro de qualidade percebida.

### **3.3.2 Variações das formulações de dosagem**

A Tabela 11 apresenta as variações de dosagem dos traços das argamassas estabilizadas conforme disposição dos materiais citados anteriormente. Os percentuais de materiais (Cimento *Portland* e areia) foram calculados sobre a massa total da mistura no estado anidro. No entanto, os percentuais de aditivos foram determinados sobre a massa total de Cimento *Portland*. Logo, a quantidade de água para mistura foi determinada com base na consistência da mistura e seu percentual calculado referente a massa total de material (aglomerante e agregado miúdo) no estado anidro.

Tabela 11 - Matriz de variações de dosagem

<b>Materiais</b>	<b>Amostra Padrão</b>	<b>Amostra MP-0</b>	<b>Amostra MP-15</b>	<b>Amostra MP-30</b>
Cimento CPV ARI	<b>12,00%</b>	<b>12,00%</b>	<b>12,00%</b>	<b>12,00%</b>
Areia Ref. MP-12	<b>88,00%</b>	0,00%	0,00%	0,00%
Areia MP-0	0,00%	<b>88,00%</b>	0,00%	0,00%
Areia MP-15	0,00%	0,00%	<b>88,00%</b>	0,00%
Areia MP-30	0,00%	0,00%	0,00%	<b>88,00%</b>
Incorporador de Ar	<b>0,29%</b>	<b>0,29%</b>	<b>0,29%</b>	<b>0,29%</b>
Estabilizador (AEH)	<b>1,20%</b>	<b>1,20%</b>	<b>1,20%</b>	<b>1,20%</b>

Fonte: elaborado pelo autor, 2020.

O programa experimental foi dividido em duas etapas. A primeira corresponde à análise das propriedades da argamassa estabilizada no estado fresco, por meio dos ensaios de consistência (*Flow Table*), densidade de massa e do teor de ar incorporado e retenção de água. Na segunda etapa foram realizadas as análises das propriedades da argamassa no estado endurecido de acordo com os ensaios de resistências à compressão axial, tração na flexão, resistência potencial de aderência à tração e outros, sendo que a relação de todas as propriedades analisadas por meio de ensaios laboratoriais está descrita na Tabela 12.

Tabela 12 Relação de ensaios realizados.

<b>Ensaio</b>	<b>Idades</b>
Consistência Flow Table - ABNT 13276:2016	0
Densidade de massa e teor de ar incorporado - ABNT NBR 13278: 2005	0
Determinação da retenção de água - ABNT NBR 13277:2005	0
Resistência à tração na flexão – ABNT NBR 13279:2005.	7 e 28
Resistência à compressão axial – ABNT NBR 13279:2005.	7 e 28
Resistência potencial de aderência à tração – ABNT NBR 13528:2019	28
Densidade de massa no estado endurecido – ABNT NBR 13280:2005	28
Porosidade - ABNT NBR NM 45:2006	28
Absorção de água por imersão - ABNT NBR 9778:2009	28
Coeficiente de capilaridade - ABNT NBR 15259:2005	28

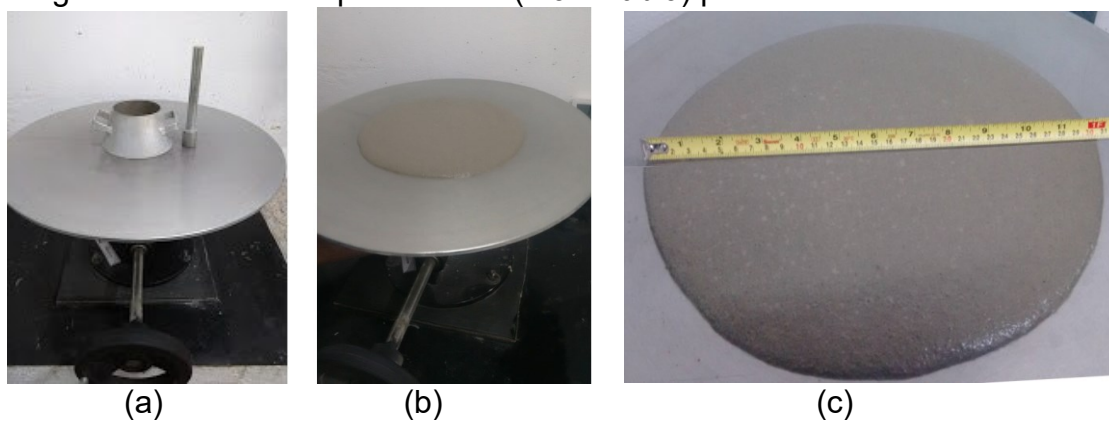
Fonte: elaborado pelo autor, 2020.

A seguir é apresentado o detalhamento dos ensaios realizados, conforme citados anteriormente, buscando atender os objetivos propostos.

### 3.3.3 Consistência

O ensaio de consistência é realizado por meio de uma mesa de consistência (*Flow Table*) e normatizado pela ABNT NBR 13276:2016 em que é aplicado para misturas com consistência plástica. O valor da consistência foi obtido mediante cálculo da média aritmética de três aferições do diâmetro após o espalhado da mistura, conforme a devida aplicação de 30 quedas de uma altura de 10mm após o acionamento da manivela da mesa. As etapas de execução do ensaio de consistência na mesa de espalhamento estão demonstradas nas Figuras 4 (a), (b) e (c).

Figura 4 - Mesa de espalhamento (*Flow Table*) para o ensaio de consistência

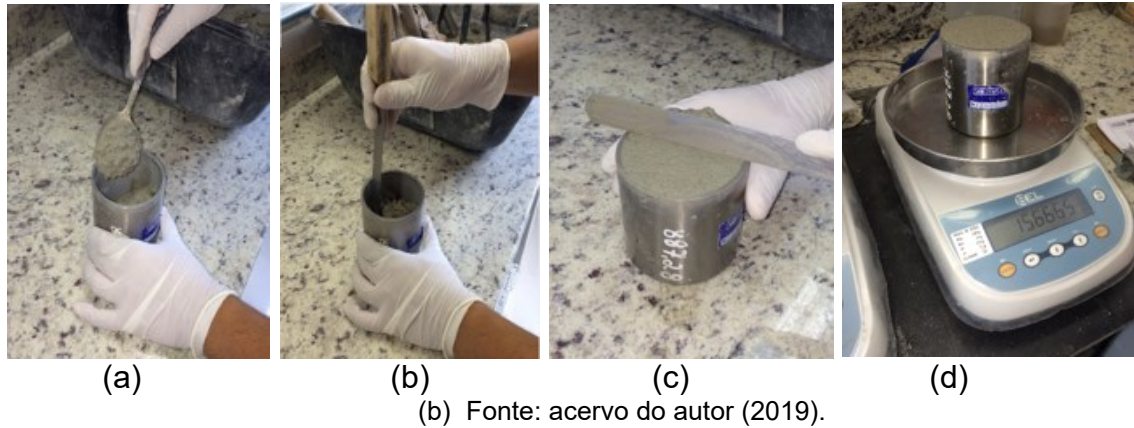


Fonte: acervo do autor (2019).

### 3.3.4 Densidade de massa e teor de ar incorporado da argamassa fresca

O ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado foram realizados conforme a ABNT NBR 13278:2005, por meio da determinação da massa específica da mistura da argamassa no estado fresco. Deste modo as etapas executivas do ensaio estão representadas resumidamente na Figura 5 (a) preenchimento do cilindro (b) compactação em camadas, (c) arrasamento do preenchimento do cilindro e (d) peso do cilindro cheio de argamassa. Sendo que o cálculo pode ser obtido por meio da Equação 1.

Figura 5 - Execução do ensaio de densidade de massa e teor de ar incorporado



(b) Fonte: acervo do autor (2019).

$$dm = \frac{mc - mv}{V_r} \quad (1)$$

Onde:  $dm$  = Densidade de massa da argamassa fresca ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$m_c$  = Massa do recipiente e da argamassa de ensaio (g);

$m_v$  = Massa do recipiente cilíndrico vazio (g);

$V_r$  = Volume do recipiente cilíndrico ( $\text{cm}^3$ ).

Desse modo o resultado do ensaio de ar incorporado pode ser obtido conforme a Equação 2.

$$Ar = 100 \left( 1 - \frac{dm}{dt} \right) \quad (2)$$

Onde:  $Ar$  = Teor de ar incorporado na argamassa no estado fresco (%);

$dm$  = Densidade de massa da argamassa no estado fresco ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

$dt$  = Densidade de massa teórica da argamassa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Logo a densidade de massa teórica é obtida por meio da Equação 3:

$$dt = \frac{\sum m_i}{\sum \frac{m_i}{\gamma_i}} \quad (3)$$

Onde:  $d_t$  =Densidade de massa teórica da argamassa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );

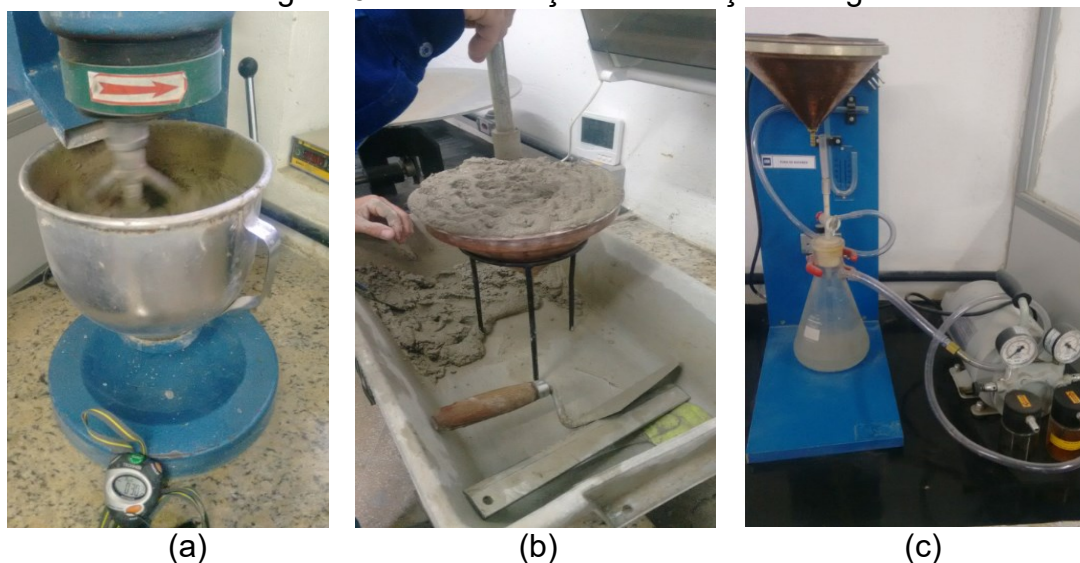
$m_i$  = Massa de cada componente da argamassa (g);

$Y_i$  = Massa específica de cada componente da argamassa ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 3.3.5 Retenção de água e tempo máximo de estabilização

O ensaio para determinação da retenção de água da argamassa foi realizado como base na metodologia da norma ABNT NBR 13277:2005, desse modo o ensaio foi desenvolvido conforme as etapas do processo que está representada de acordo com a Figura 6 (a) mistura da argamassa mecanicamente por meio de uma argamassadeira de eixo vertical centralizado, (b) moldagem da argamassa no conjunto prato perfurado sobre o disco de papel filtro qualitativo, (c) acionamento da bomba a vácuo para sucção da água por meio do funil *Buchener*.

Figura 6 - Determinação da retenção de água



Fonte: acervo do autor (2019).

Portanto o resultado da retenção de água é obtido por meio das Equações 4 e 4.1.

$$R_a = \left[ 1 - \frac{(M_a - M_s)}{AF (M_a - M_v)} \right] 100 \quad (4)$$

Sendo:

$$AF = \frac{M_w}{M+M_w} \quad (4.1)$$

Onde:  $R_a$  = Retenção de Água (%).

$M_a$  = Massa do conjunto com argamassa (g).

$M_s$  = Massa do conjunto após sucção (g).

$M_v$  = Massa do conjunto vazio (g).

$AF$  = Fator água/argamassa fresca.

$M_w$  = Massa total de água adicionada à mistura (g).

$M$  = Massa da mistura da argamassa no estado anidro (g).

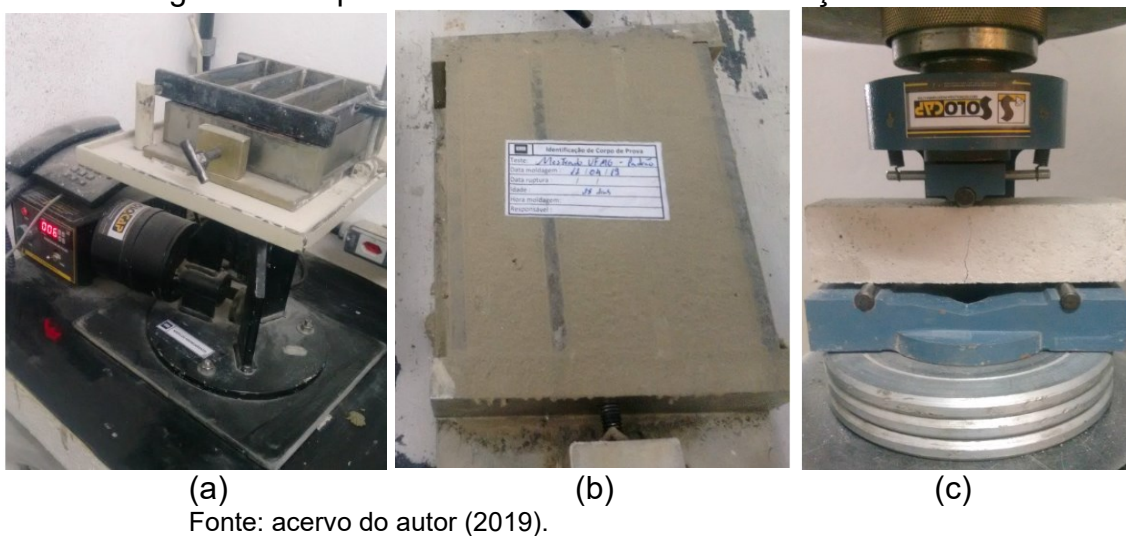
O ensaio para verificação do tempo máximo de estabilização da argamassa foi desenvolvido de forma empírica, pois não há uma metodologia normativa para essa análise. Portanto, o processo utilizado consiste em depositar uma determinada quantidade de amostra fresca da argamassa em um recipiente de material não absorvente, como por exemplo um pote plástico. E em seguida acomodar a mistura dentro do recipiente de forma manual para que a mistura adense e preencha todo o volume interno do recipiente. E após 1 hora decorrido do tempo da adição da água para mistura da argamassa, cobre-se a superfície da amostra dentro do recipiente, com uma fina película de água (espessura de 10mm). Dessa forma a cada período de tempo de aproximadamente uma hora inserisse uma espátula metálica penetrando sobre a mistura e buscando atingir o fundo do recipiente. Conforme o decorrer do tempo a mistura começa a perder plasticidade e tornar mais rígida comprometendo assim a penetração da espátula. Logo, quando a espátula não conseguir atingir mais o fundo do recipiente será considerado o tempo máximo de estabilização.

### 3.3.6 Resistência à tração na flexão

Assim como o concreto as argamassas também estão sujeitas às tensões de tração, o ensaio de resistência à tração na flexão foi realizado conforme a metodologia ABNT NBR 13279:2005. Foi utilizada uma prensa eletrônica, configurada conforme um *script* a selecionar à capacidade de carga máxima de

50 toneladas, por meio de uma célula de carga, precisão de 1 kgf e taxa de carregamento de 0,45 MPa/s. O ensaio foi executado nas idades de 7 e 28 dias após a data de moldagem dos corpos de prova. A Figura 7 representa as etapas do método utilizado (a) processo de moldagem dos corpos de prova sobre à mesa de adensamento composta por um contador eletrônico de quedas, (b) moldes em formato prismático 40x40x160mm e (c) dispositivo acoplado à prensa para ensaio de tração na flexão com aplicação de carga sobre dois apoios.

Figura 7 - Etapas do ensaio de resistência a tração a flexão.



Desse modo o resultado do ensaio de resistência à tração na flexão é obtido por meio do cálculo matemático conforme a Equação 5.

$$F_t = \frac{1,5 F_f L}{40^3} \quad (5)$$

Onde:  $F_t$  = Resistência à tração na flexão (MPa);

$F_f$  = Força máxima obtida no ensaio (N);

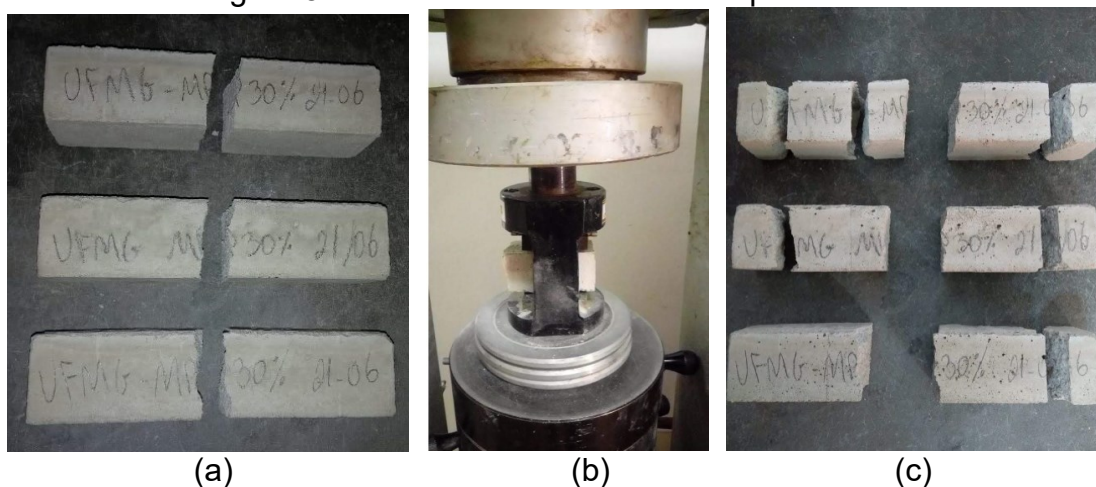
$L$  = Distância entre os suportes (mm).

### 3.3.7 Resistência à compressão axial

O ensaio para determinar a resistência a compressão axial da argamassa foi realizado conforme ABNT NBR 13279:2005. Foi utilizada a mesma prensa do ensaio de resistência a tração na flexão, inclusive com os mesmos corpos de prova, sendo utilizadas as extremidades das amostras após a ruptura na flexão.

No entanto, com os parâmetros de *script* adequados para o ensaio de compressão axial, visto que a dimensão de aplicação da carga sobre a área dos corpos de prova para o referido ensaio é de 40x40mm. O ensaio foi executado nas idades de 7 e 28 dias após a data de moldagem. As etapas do processo do ensaio estão representadas conforme a Figura 8 (a) corpo de prova obtidos após o ensaio de compressão à tração na flexão, (b) corpo de prova acoplado no dispositivo específico de compressão axial com a superfície arrasada posicionada para cima e (c) corpo de prova já rompido após o ensaio.

Figura 8 - Ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: acervo do autor (2019).

Deste modo o resultado do ensaio de resistência à compressão axial é determinado conforme a Equação 6.

$$F_c = \frac{F}{A} \quad (6)$$

Onde:  $F_c$  = Resistência à compressão axial (MPa);

$F$  = Força máxima obtida no ensaio (N);

$A$  = Área da seção transversal do corpo de prova (mm<sup>2</sup>).

### 3.3.8 Resistência potencial de aderência à tração

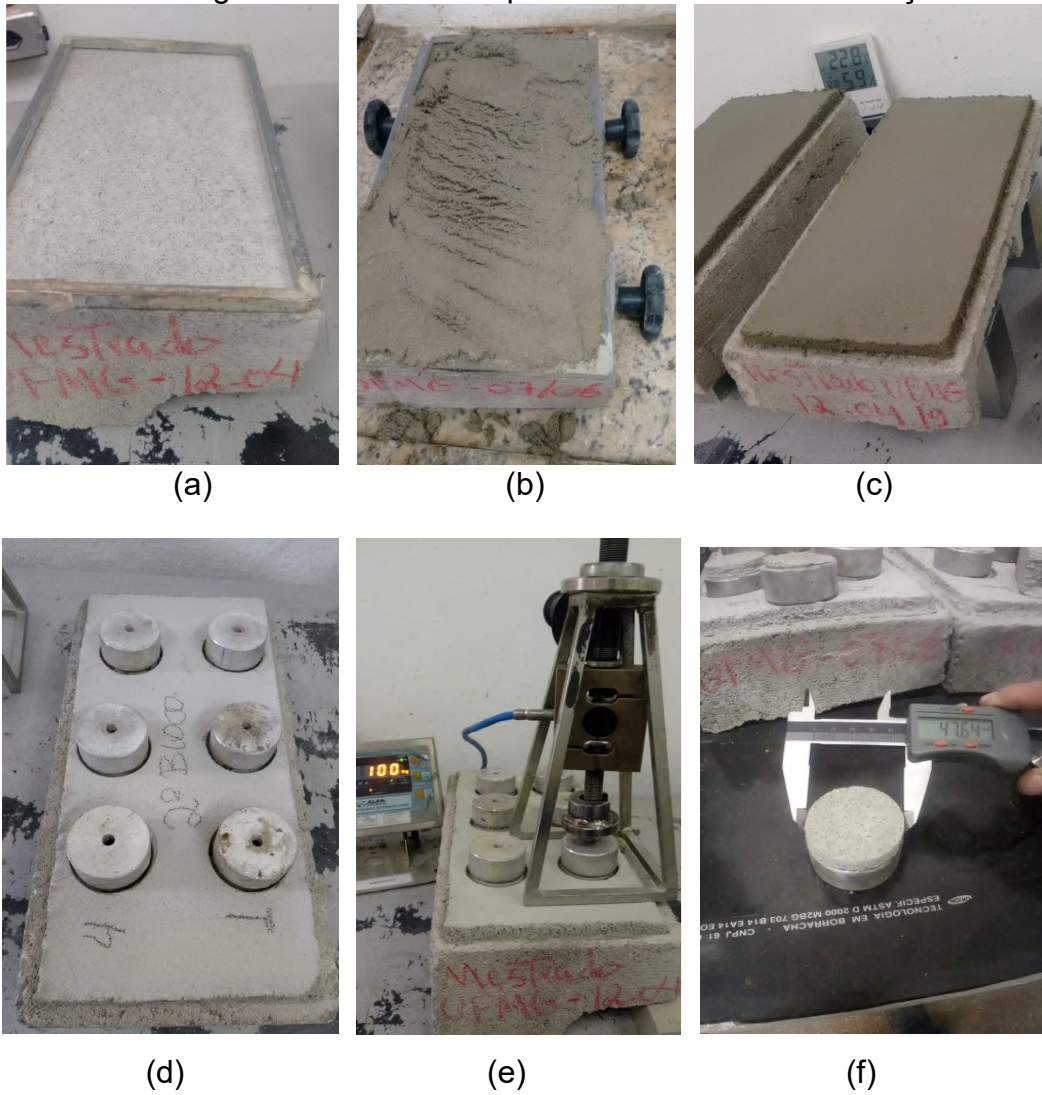
O ensaio foi realizado tendo como base parte da metodologia da norma ABNT NBR 13528:2019, a qual descreve o procedimento de execução e

determinação da resistência potencial de aderência à tração. Deste modo os corpos de prova foram moldados em um substrato de bloco de concreto de alvenaria de vedação, com dimensões de 14x19x39 mm, sendo realizada a aplicação da argamassa sobre sua maior superfície, por meio de imprimação, tendo como espessura média de 20 mm, controlada através de um gabarito metálico. Logo, conforme a área superficial de cada corpo de prova foi possível obter 6 amostras para determinar à tração por meio de um aparelho de arrancamento, composto por uma célula de carga da Alfa, com capacidade máxima de 5000 kgf e precisão de 1kgf.

Por conseguinte, foram moldados dois corpos de prova (duas superfícies de bloco com 6 pastilhas circulares em cada superfície) para cada variação de amostra de argamassa, sendo realizados os ensaios aos 28 dias após a moldagem dos mesmos.

A Figura 9 representa as etapas do processo de desenvolvimento do ensaio, (a) fixação do gabarito junto ao bloco de concreto, (b) imprimação manual da argamassa no substrato, (c) corpo de prova moldado, (d) corte e colagem das pastilhas para acoplar o aparelho de arrancamento, (e) realização do tracionamento das pastilhas coladas ao corpo de prova, (f) aferição do diâmetro das amostras aderidas às pastilhas para determinar área efetiva.

Figura 9 - Resistência potencial de aderência à tração



Fonte: acervo do autor (2019).

Deste modo o resultado de resistência potencial de aderência à tração foi determinado conforme a Equação 7.

$$Ra = \frac{P'}{A_1} \quad (7)$$

Onde:  $Ra$  = Resistência potencial de aderência à tração, em MPa;

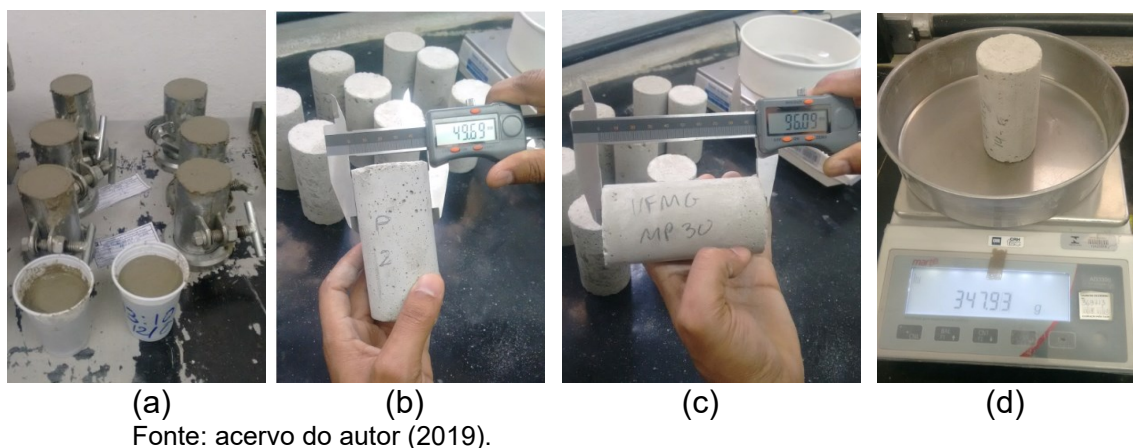
$P'$  = Carga de ruptura, em N;

$A_1$  = Área da pastilha, em mm<sup>2</sup>.

### 3.3.9 Densidade de massa no estado endurecido

O ensaio de densidade de massa no estado endurecido foi realizado tendo como base parte da metodologia da norma ABNT NBR 13280:2005, sendo que foram moldados 3 corpos de prova para cada variação de argamassa, com formato cilíndrico dimensões de 50 mm de diâmetro e 100 mm altura. A Figura 10 representa o processo de execução do ensaio. (a) moldagem dos corpos de prova, aferição dimensional dos corpos de prova para determinação do volume, respectivamente (b) diâmetro e (c) comprimento, e (d) aferição da massa dos (CP's).

Figura 10 - Ilustração das etapas para determinação da densidade de massa no estado endurecido.



Fonte: acervo do autor (2019).

Deste modo o resultado da densidade de massa aparente no estado endurecido é determinado conforme a Equação 8.

$$\gamma_{ap} = \frac{M}{V} \quad (8)$$

Onde:

$\gamma_{ap}$  = Densidade de massa aparente no estado endurecido ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

$M$  = Massa do corpo de prova (g).

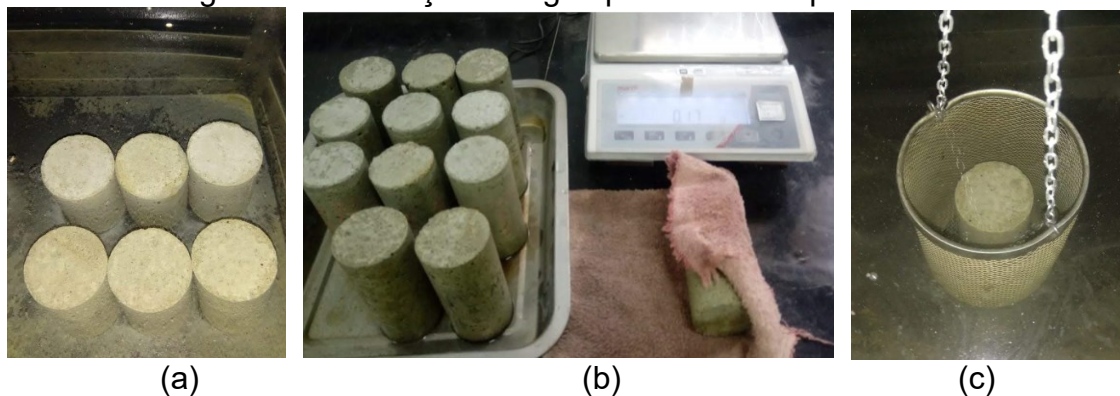
$V$  = Volume do corpo de prova ( $\text{cm}^3$ ).

### 3.3.10 Absorção de água por imersão e porosidade

O ensaio de absorção de água por imersão foi realizado tendo como base parte da metodologia da norma ABNT NBR 9778:2009 a qual indica a capacidade máxima de absorção pela argamassa, logo o ensaio foi desenvolvido com corpos de prova (CP's) cilíndricos sendo moldados 3 (CP's), para cada variação de amostra de argamassa.

A Figura 11 representa parte da execução do ensaio de absorção por imersão, bem como parte do ensaio de porosidade o qual foi utilizado a norma ABNT NM 45:2006, (a) corpo de prova submerso em água, (b) pesagem dos (CP's) saturado com superfície seca e (c) pesagem do corpo de prova no cesto submerso por meio da balança hidrostática.

Figura 11 - Absorção de água por imersão e porosidade.



Fonte: acervo do autor (2019).

Assim sendo o resultado de absorção de água por imersão e porosidade puderam ser obtidos por meio das Equações (9) e (10), respectivamente.

$$A_i = \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{seca}} \times 100 \quad (9)$$

Onde:  $A_i$  = absorção de água por imersão (%);

$M_{sat}$  = massa do corpo de prova que ficou imerso em água com superfície seca (g);

$M_{seca}$  = massa do corpo de prova seco (g).

$$P = \frac{M_{sat} - M_{seca}}{M_{seca} - M_{sub}} \times 100$$

(10)

Onde:  $P$  = Porosidade (%);

$M_{seca}$  = Massa do corpo de prova seco (g);

$M_{sat}$  = Massa do corpo de prova úmido com superfície seca (g);

$M_{sub}$  = Massa do corpo de prova submerso em água (g);

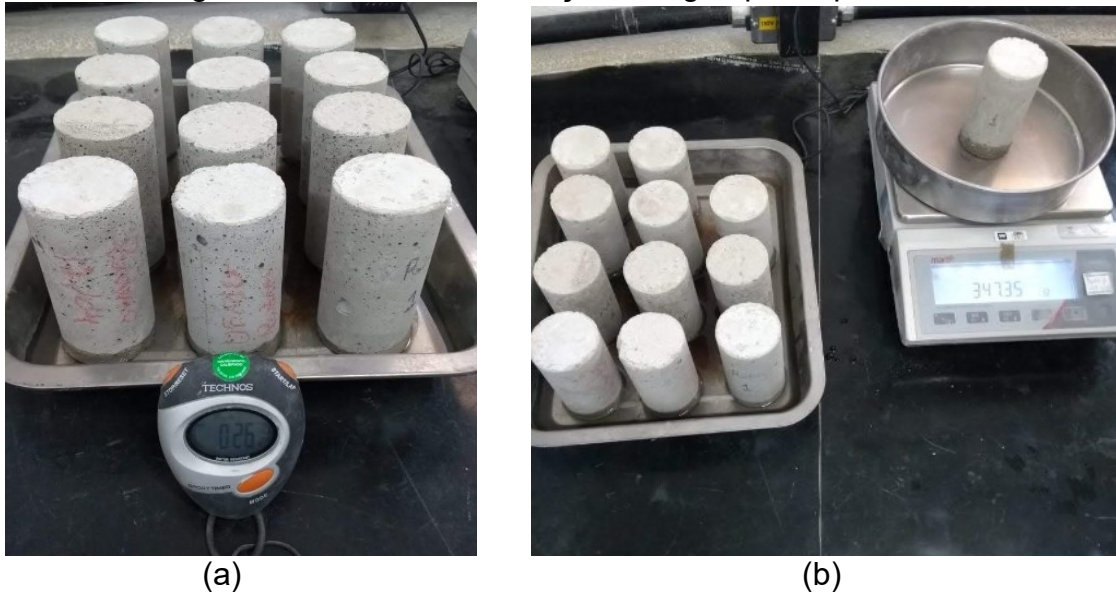
$M_{seca}$  = Massa do corpo de prova seco (g);

$M_{sub}$  = Massa do corpo de prova submerso em água (g).

### **3.3.11 Coeficiente de capilaridade**

O ensaio de coeficiente de capilaridade foi realizado conforme metodologia descrita na norma ABNT NBR 15259: 2005, contudo os formatos dos corpos de prova foram cilíndricos (50mm x 100mm) devido a limitação de formas prismáticas, no entanto, valendo-se desta ressalva, todo o processo foi desenvolvido conforme o método normativo. A Figura 12 ilustra parte do processo de execução do ensaio para a obtenção do coeficiente de capilaridade, (a) corpo de prova com a face inferior em contato com uma película d'água de espessura de 5mm, (b) pesagem do corpo de prova após o contato com a lamina d'água conforme os tempo de 10 e 90 minutos.

Figura 12 - Ensaio de absorção de água por capilaridade.



Fonte: acervo do autor (2019).

Assim sendo, os resultados do coeficiente de capilaridade puderam ser obtidos por meio da Equações 11.

$$C = M_{90} - M_{10} \quad (11)$$

Onde: **C** = Coeficiente de capilaridade ( $\text{g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ );

**$M_{90}$**  = Massa do corpo de prova, após 90min de imersão em água (g);

**$M_{10}$**  = Massa do corpo de prova, após 10min de imersão em água (g).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Ensaio de consistência e quantidade de água para mistura

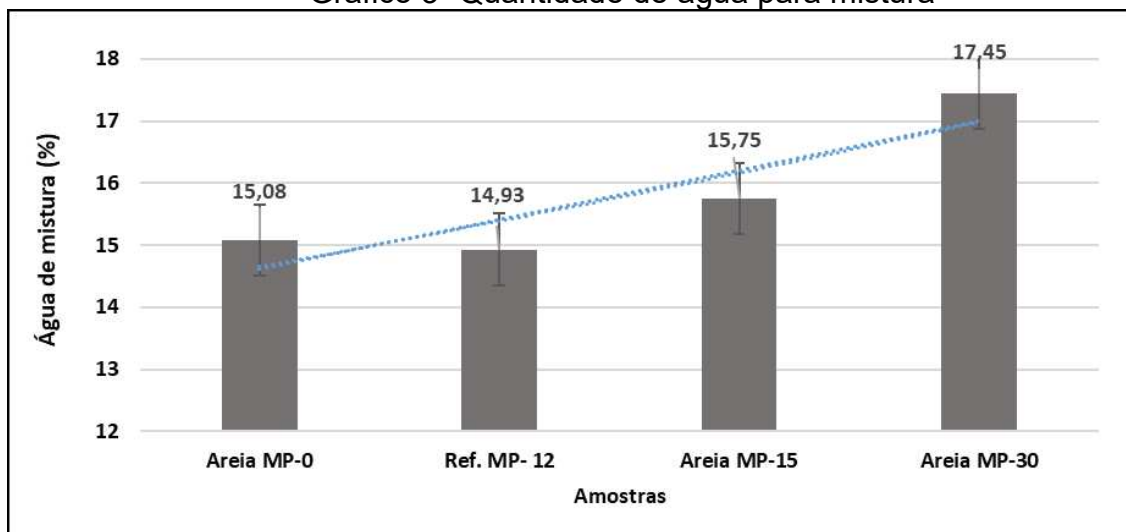
O ensaio de consistência (*Flow Table*) foi realizado segundo a norma ABNT NBR 13276:2016 e utilizado como delimitador para determinação da quantidade de água de amassamento, logo os resultados estão apresentados na Tabela 13 e Gráfico 3.

Tabela 13 - Resultados dos ensaios consistência e água para mistura

<b>Amostra</b>	<b>Água mistura (%)</b>	<b>Consistência (mm)</b>
Areia MP-0	15,08	305
Ref. MP- 12	14,93	305
Areia MP-15	15,75	300
Areia MP-30	17,45	310

Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Gráfico 3- Quantidade de água para mistura



Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Vale ressaltar que este ensaio de consistência foi utilizado para parametrização da quantidade de água de mistura, por meio de uma plasticidade limitada em (300±10mm) conforme a trabalhabilidade da argamassa, segundo uso em aplicação como assentamento e revestimento.

Analisando os resultados e principalmente durante o processo de mistura da argamassa percebeu-se que a amostra de referência apresentou uma ótima trabalhabilidade mantendo um aspecto visual de coesão e plasticidade, conforme as características de qualidade percebida já esperada para uma

mistura desenvolvida com areia de referência (Ref. MP-12), a qual possui teor de material pulverulento de 12% e um consumo de água para mistura de 14,93% em relação a massa total dos constituintes da argamassa no estado anidro e obtendo uma abertura de consistência de 305 mm.

Já amostra MP-0, dosada com areia com fração granulométrica desenvolvida em laboratório, induzido a um teor de material pulverulento inferior a 0,5% (considerado como zero), apresentou uma consistência de 305 mm. No entanto a análise de qualidade percebida, ou seja, a trabalhabilidade foi bem desfavorável em relação a mistura de referência, apresentando um aspecto áspero, pouca coesão, baixa plasticidade e leve exsudação. Visto que esta amostra era praticamente isenta da fração de microfinos do agregado. Logo, a ausência de microfinos na estrutura granulométrica impactou negativamente na trabalhabilidade, sendo necessário um consumo de água semelhante ao da amostra Ref. MP-12, para minimizar o efeito da densidade elevada e consequentemente reduzir o aspecto de massa seca.

A amostra MP-15 apresentou características de mistura bem semelhante à amostra de Ref. MP-12, principalmente no aspecto de trabalhabilidade, plasticidade e coesão. Tudo isso pode ser justificado devido à amostra MP-15 ter sido dosada com areia desenvolvida em laboratório com características granulométricas e quantidade de material pulverulento da areia de 15%, próximo ao da amostra de referência. Ainda assim houve um consumo de água de mistura de 15,75%

Já a amostra MP-30 apresentou característica de qualidade percebida como trabalhabilidade razoável, embora ter apresentado consistência *Flow Table* no limite estabelecido 310 mm. Visto que esta mistura foi dosada com uma amostra de areia induzida para atingir um teor de material pulverulento de 30%, consequentemente essa quantidade de microfinos comprometeria nos parâmetros de densidade aparente e na quantidade de água de mistura atingindo valor de 17,45%, bem superior em relação amostra Ref. MP-12.

#### **4.2 Densidade de massa e teor de ar incorporado da argamassa fresca**

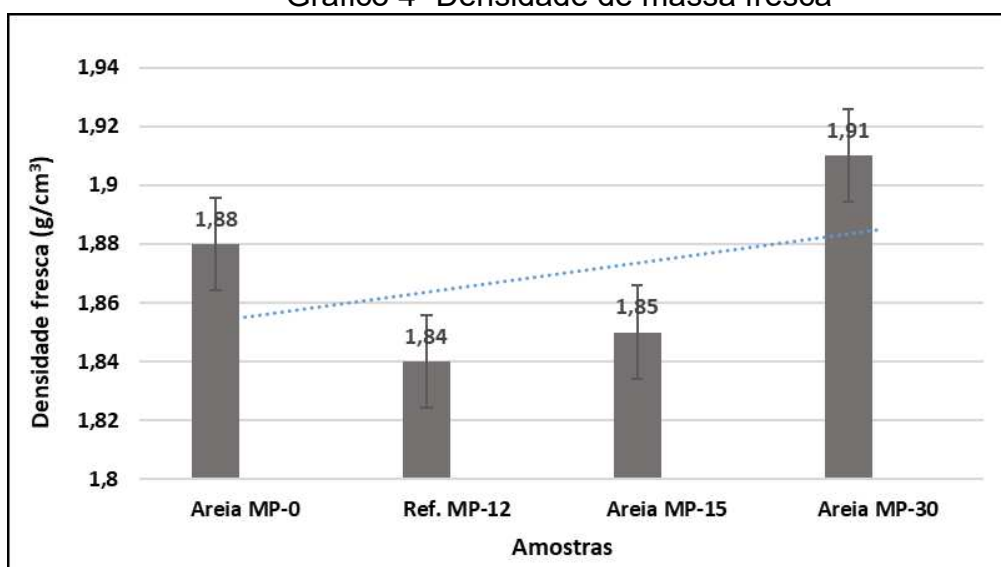
Os resultados dos ensaios de massa específica no estado fresco e teor de ar incorporado da argamassa fresca são apresentados na Tabela 14 e nos Gráficos 4 e 5.

Tabela 14 - Resultado densidade de massa fresca e teor de ar incorporado.

<b>Amostra</b>	<b>Densidade de Massa (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de Ar Incorporado (%)</b>
Areia MP-0	1,88	13
Ref. MP-12	1,84	16
Areia MP-15	1,85	15
Areia MP-30	1,91	10

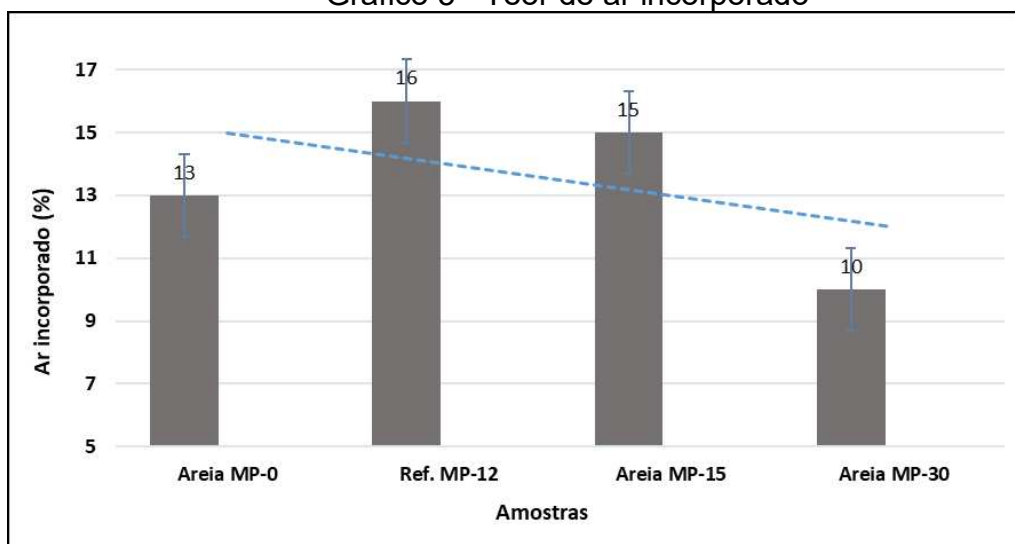
Fonte: elaborado pelo autor (2019)

Gráfico 4 - Densidade de massa fresca



Fonte: elaborado pelo autor (2019)

Gráfico 5 - Teor de ar incorporado



Fonte: elaborado pelo autor (2019)

Conforme os critérios de classificação da densidade de massa no estado fresco segundo a ABNT NBR 13281:2005, as amostras analisadas

apresentaram valores correspondentes a identificação de Classe D5 com valores entre 1,80 a 2,20 g/cm<sup>3</sup>.

Os resultados obtidos na amostra de referência (Ref. MP-12) e na amostra com areia MP-15 apresentaram valores próximos, podendo ser interpretados devido à semelhança na curva granulométrica em ambas, bem como na característica de consistência e trabalhabilidade. Portanto, tanto os valores de densidade fresca quanto do teor de ar incorporado da amostra MP-15 estiveram próximo dos valores encontrados na amostra Ref. MP-12.

Contudo, a amostra MP-0 apresentou valor de densidade de massa fresca um pouco mais elevado do que a amostra de referência e MP-15. Visto que a amostra MP-0 estava isenta de partículas finas de agregado, desse modo influenciou à trabalhabilidade da mistura devido à carência de empacotamento de grãos. Por isso essa ausência de finos impactou também em um valor de ar incorporado inferior ao obtidos nas amostras de Ref. MP-12 e na amostra MP-15.

À vista disso a amostra MP-30 apresentou valores relativamente divergentes em relação as outras amostras, ressaltando uma maior variação em função dos valores de densidade de massa fresca e do teor de ar incorporado, comparados à amostra Ref. MP-12. Logo, essa variação pode ser justificada em função da elevada quantidade de partículas de microfinos induzidos na composição granulométrica da areia, sendo relevante para o aumento da densidade fresca da mistura e conseqüentemente na redução do teor de ar incorporado, resultando em uma mistura mais coesa (densa) devido ao maior empacotamento de grãos.

#### **4.3 Retenção de água e tempo máximo de estabilização**

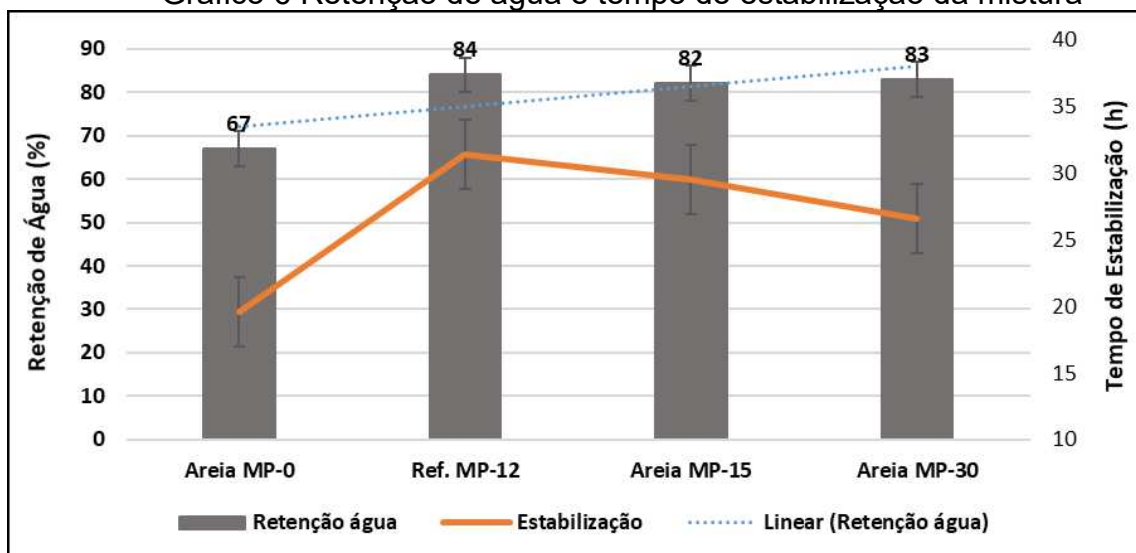
Os resultados de retenção de água e tempo máximo de estabilização são apresentados na Tabela 15 e no Gráfico 6.

Tabela 15 - Resultado de retenção de água e tempo máximo de estabilização

Amostra	Retenção de água (%)	Tempo máx. de estabilização (h.)
Areia MP-0	67	19:42
Ref. MP-12	84	31:23
Areia MP-15	82	29:36
Areia MP-30	83	26:34

Fonte: elaborado pelo autor (2019)

Gráfico 6 Retenção de água e tempo de estabilização da mistura



Fonte: elaborado pelo autor (2019)

Conforme os critérios de classificação da retenção de água segundo a ABNT NBR 13281:2005, as amostras analisadas apresentaram valores correspondentes a identificação de Classe U1 ( $\leq 78\%$ ) para a amostra com areia MP-0 e as outras amostras classificaram como U3 (80 a 90%). Já a análise do tempo máximo de estabilização foi avaliada de forma empírica, por não apresentar uma metodologia normativa.

As misturas em geral, exceto a amostra MP-0 apresentaram valores de retenção de água próximos, bem como os valores de tempo máximo de estabilização da argamassa. Ainda assim a mistura de argamassa com teor de material pulverulento de 30% (Areia MP-30), manteve uma estabilização com tempo superior à 24 horas, conforme previsto na fase de dosagem e formulação.

No entanto, a amostra com areia isenta de fração de microfinos (Areia MP-0), apresentou um percentual muito baixo de retenção de água, como já esperado, em relação as outras amostras, e conseqüentemente um tempo máximo de estabilização da mistura inferior a 20 horas. Portanto, a mistura com ausência de microfinos impactou negativamete em relação a retenção de água

e tempo de estabilização do que uma amostra com elevado percentuais de materiais pulverulento.

#### 4.4 Densidade de massa no estado endurecido

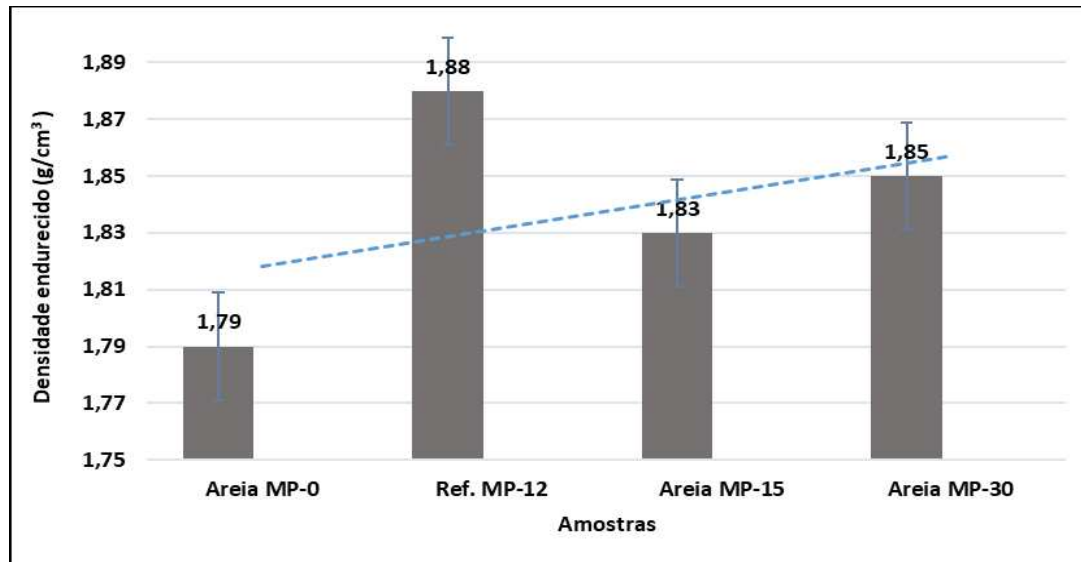
Os resultados da densidade de massa no estado endurecido das argamassas foram obtidos tendo como referência parte da metodologia da norma ABNT NBR 13280:2005, cujos resultados estão apresentados na Tabela 16 e no Gráfico 7.

Tabela 16 - Densidade de massa no estado endurecido.

Amostra	Densidade de massa estado endurecido (g/cm <sup>3</sup> )	Erro
Areia MP-0	1,79	0,01
Ref. MP-12	1,88	0,01
Areia MP-15	1,83	0,01
Areia MP-30	1,85	0,00

Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Gráfico 7 - Densidade de massa no estado endurecido



Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Conforme os critérios de classificação da densidade de massa no estado endurecido segundo a ABNT NBR 13281:2005, as amostras analisadas apresentaram valores entre (1,6 a 2,0 g/cm<sup>3</sup>) podendo ser identificadas como Classe M5, alta densidade. Embora a amostra com Areia MP-0 apresentasse valor de 1,79 g/cm<sup>3</sup>, podemos inferir que esse valor inferior em relação as outras amostras que possuíram valores de densidade entre 1,83 a 1,88 g/cm<sup>3</sup> no estado

endurecido, pode ser justificado pela falta de material de enchimento para compor a estrutura granulométrica da areia, a qual não apresentava materiais microfinos.

Entretanto, a amostra que tinha maior quantidade de material pulverulento, Areia MP-30, não manifestou o maior valor de densidade, logo vale ressaltar a teoria do empacotamento de grãos, visto que não basta ter grande quantidade de material fino, sendo que, se o mesmo não estiver em quantidade proporcional em relação as outras frações granulométricas não resultará em maior densidade, tampouco redução de vazios. Portanto, a amostra de referência (Ref. MP-12) obteve o maior valor de densidade de massa no estado endurecido ( $1,88 \text{ g/cm}^3$ ), pois foi a mistura de argamassa desenvolvida com a areia de melhor distribuição granulométrica.

#### 4.5 Absorção de água por imersão e porosidade

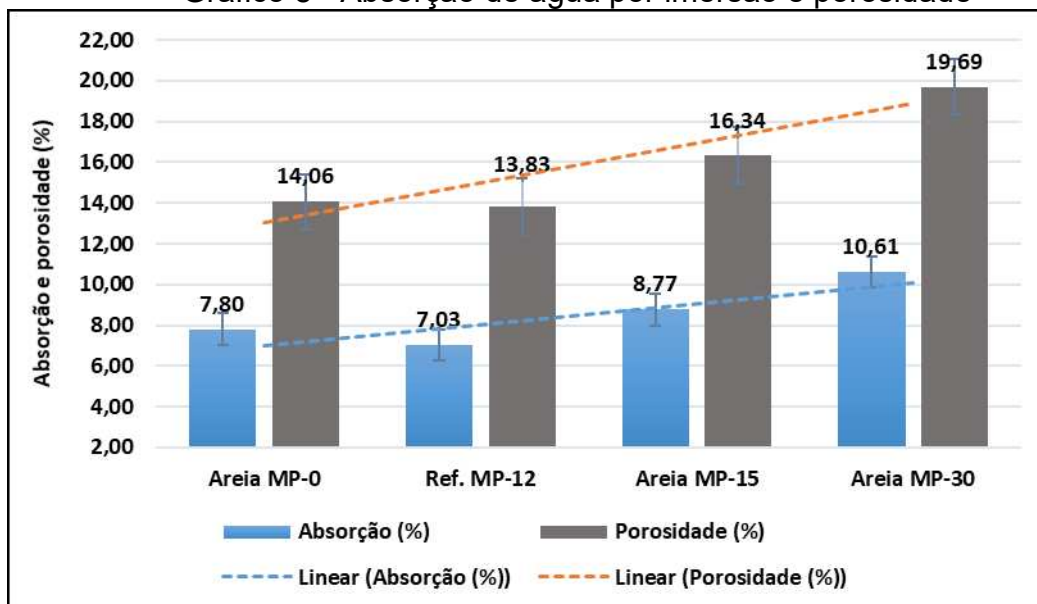
Os resultados de absorção de água por imersão e porosidade estão apresentados na Tabela 17 e no Gráfico 8.

Tabela 17 - Resultados da absorção de água por imersão e porosidade

<b>Amostra</b>	<b>Média absorção por imersão (%)</b>	<b>Média da porosidade (%)</b>
Areia MP-0	7,80	14,06
Ref. MP-12	7,03	13,83
Areia MP-15	8,77	16,34
Areia MP-30	10,61	19,69

Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Gráfico 8 - Absorção de água por imersão e porosidade



Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Os resultados mostram que valores médios da absorção de água por imersão correspondem aproximadamente à cinquenta por cento dos valores médios da porosidade das amostras da argamassa estabilizada. Vale ressaltar que a amostra de referência obteve valores de absorção e porosidade próximos da amostra com Areia MP-0. Entretanto, cabe analisar as propriedades das misturas, especificamente a trabalhabilidade e consistência como um todo, pois a amostra com Areia MP-0 (pouca plasticidade) apresentou no estado fresco aspecto totalmente diferente da amostra de Ref. MP-12 (ótima plasticidade). Portanto, sempre que possível devemos analisar os valores das propriedades, principalmente no estado endurecido, com os aspectos de qualidade percebida ao que tange a trabalhabilidade da mistura.

Logo infere-se que, conforme aumenta a quantidade de materiais pulverulentos oriundos do agregado, conseqüentemente demanda maior adição de água para mistura, visando favorecer a melhora da trabalhabilidade da argamassa. Desse modo após a evaporação da água livre da mistura são formados vazios (poros) na estrutura da argamassa consolidada (endurecida), visto que esses poros proporcionam a percolação da água afetando a absorção e porosidade do composito. Efeito esse constatado na mistura da amostra com Areia MP-0.

#### 4.6 Coeficiente de capilaridade

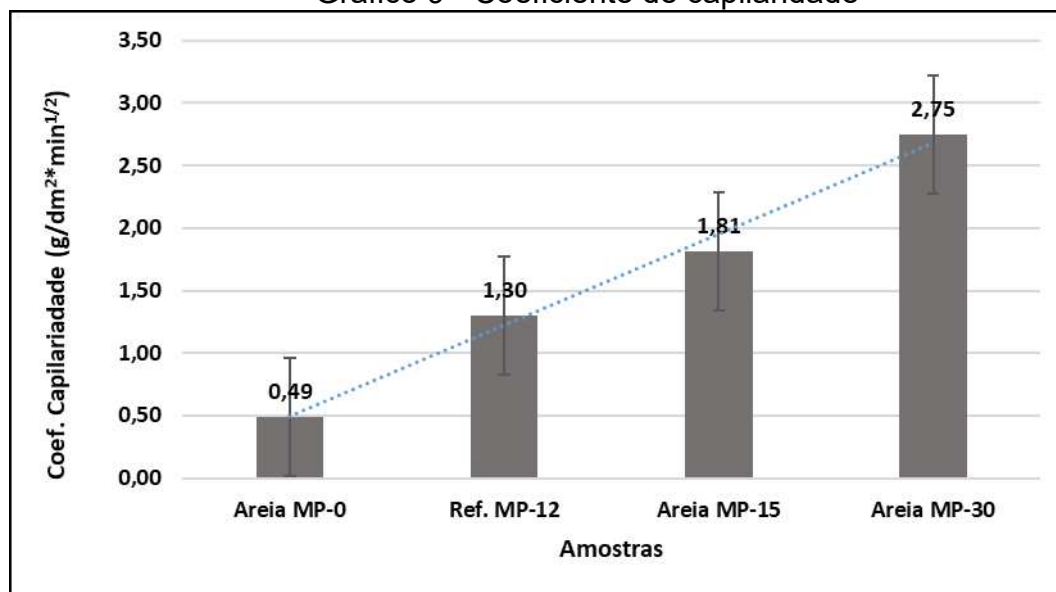
O resultado do coeficiente de capilaridade está apresentado na Tabela 18 e no Gráfico 9.

Tabela 18 - Resultado do coeficiente de capilaridade

Amostra	Média da massa úmida dos CP's conforme o tempo		Coeficiente de Capilaridade ( $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ )
	10'	90'	
Areia MP-0	342,59	343,08	0,49
Ref. MP-12	367,94	369,24	1,30
Areia MP-15	348,18	349,98	1,81
Areia MP-30	346,74	349,49	2,75

Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Gráfico 9 - Coeficiente de capilaridade



Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Conforme os critérios de classificação do coeficiente de capilaridade segundo a ABNT NBR 13281:2005, as amostras analisadas podem ser classificadas em três classes: amostra de referência (Ref. MP-12) e amostra MP-15 classe C2 (1,0 a 2,5  $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ ), amostra MP-0 Classe C1 ( $\leq 1,5 \text{ g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ ) e amostra MP-30 Classe C3 (2,0 a 4,0  $\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ ). Desse modo pode-se verificar que os valores dos coeficientes de capilaridade estão relacionados a quantidade de poros bem como a forma e disposição desses poros na estrutura endurecida da amostra, a qual pode apresentar diversas

influências, oriundas da composição granulométrica do agregado (mais ou menos finos) e também da quantidade de aditivo incorporador de ar presente na mistura.

Por isso o valor de capilaridade obtido na amostra MP-0 indica que por falta de materiais microfinos houve a formação de poros com maiores diâmetros (ausência de empacotamento de grão), o que resultou em um efeito menor da sucção de água nos interstícios capilares da estrutura da amostra, diferentemente do valor de capilaridade da amostra MP-30, que apresentou maior quantidade de microfinos entre as amostras analisadas. Conseqüentemente, obteve poros com menores diâmetros e interligados entre si, resultando em um valor de capilaridade maior, em relação as outras amostras (HADDAD, 2015).

Assim sendo segundo Rodrigo (2015) e Bauer (2015), argamassas de revestimento com valores de coeficiente de capilaridade superiores a  $(3,0 \text{ g/dm}^2, \text{ min.}^{1/2})$  estão mais susceptíveis a manifestações patológicas de fissuração bem como o agravamento de patologias neste sistema de revestimento caso esteja exposta às incidências direta de chuva.

#### 4.7 Resistência potencial de aderência à tração

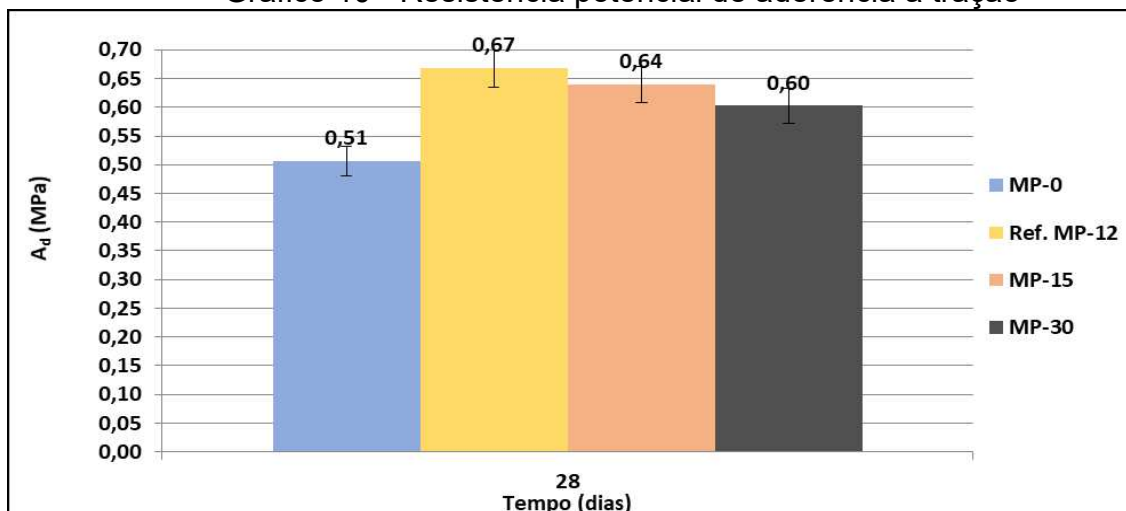
Os resultados do ensaio de resistência potencial de aderência à tração realizado aos 28 dias, estão apresentados na Tabela 19 e no Gráfico 10.

Tabela 19 - Resultados ensaios resistência potencial de aderência à tração

<b>Amostra</b>	<b>Valor médio de Aderência (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão (MPa)</b>	<b>Classe ABNT NBR 13.281: 2005</b>
Areia MP-0	0,51	0,04	A3
Ref. MP-12	0,67	0,02	A3
Areia MP-15	0,64	0,03	A3
Areia MP-30	0,60	0,03	A3

Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Gráfico 10 - Resistência potencial de aderência à tração



Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Todas as amostras submetidas aos ensaios de resistência potencial de aderência à tração foram classificadas como classe A3 conforme a ABNT NBR 13.281:2005. Embora cada tipo de amostra apresentasse faixas granulométricas diferentes, em função da quantidade de microfinos ausentes ou presentes, mesmo assim os valores de um modo geral foram próximos (entre 0,60 a 0,67 MPa). Salvo a amostra MP-0 que teve valor médio de resistência potencial de aderência à tração de 0,51 MPa. Valor esse que pode ser justificado pela característica apresentada na mistura tais como: pouca trabalhabilidade, baixa retenção de água, aspecto áspero, areia com faixa granulométrica aberta, etc.

Contudo, a amostra de referência (Ref. MP-12) apresentou o maior valor de resistência potencial de aderência (0,67 MPa), visto que foi a amostra que obteve os melhores resultados de propriedades físicas no estado fresco e endurecido, seguido pela amostra de Areia MP-15. Vale ressaltar que a amostra de Referência é constituída por uma areia de curva granulométrica contínua e teor de material pulverulento (microfinos) de 12,0%. Por conseguinte, a composição granulométrica do agregado impacta diretamente no desempenho da argamassa (CARASEK, 2007).

#### 4.8 Resistência à tração na flexão

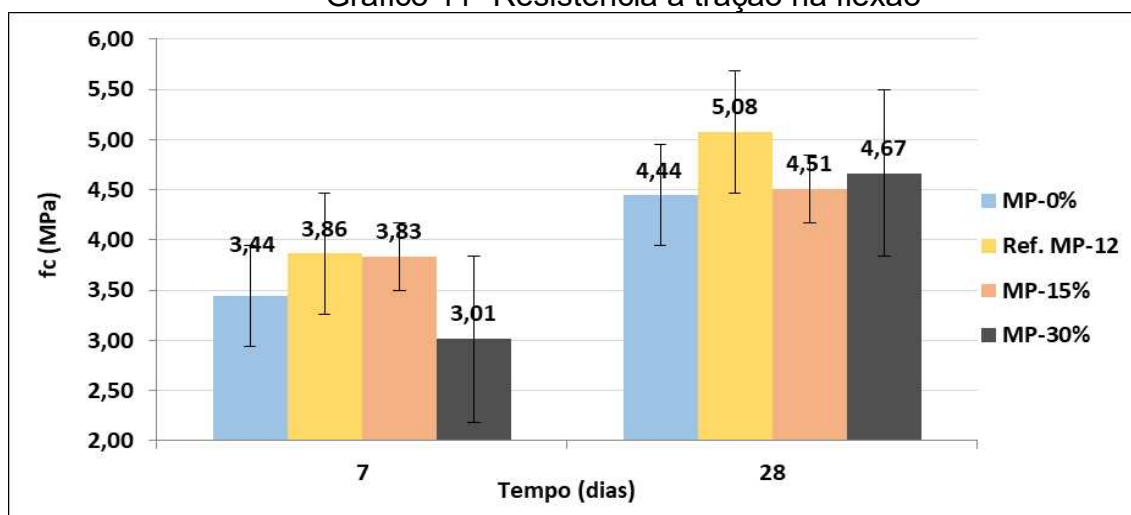
Os resultados de resistência à tração na flexão estão apresentados na Tabela 20 e no Gráfico 11.

Tabela 20 - Resultados de resistência à tração na flexão

Amostra	Média resistência à tração na flexão		Erro (MPa)
	Idade (dias)	$f_c$ (MPa)	
Areia MP-0	7	3,44	0,16
	28	4,44	0,16
Ref. MP-12	7	3,86	0,09
	28	5,08	0,08
Areia MP-15	7	3,83	0,21
	28	4,51	0,22
Areia MP-30	7	3,01	0,18
	28	4,67	0,25

Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Gráfico 11- Resistência à tração na flexão



Fonte: elaboradopelo autor (2019)

Analisando os valores obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão, verifica-se que de um modo geral as amostras apresentaram valores relativamente próximos, tanto para as idades de 7 dias, com valores médios entre 3,01 a 3,86 MPa, quanto para 28 dias de 4,44 a 5,08 MPa. Desse modo todas as amostras puderam ser classificadas conforme a ABNT NBR 13.281:2005 como Classe R6, com valores médios  $\geq 3,5$  MPa aos 28 dias. Vale salientar que em todas as amostras há oportunidade de otimizar o consumo de Cimento *Portland*, principalmente na amostra de referência (Ref. MP-12), devido os valores elevados de resistência, pois caracteriza como uma argamassa possivelmente rígida para uso em sistema de revestimento.

A amostra MP-0, com pouca trabalhabilidade na mistura, apresentou resultados próximos da amostra de Referência, mesmo tendo plasticidade

diferente. Logo, o resultado de qualquer ensaio deve ser analisado de forma sistêmica, relacionando o máximo possível as propriedades de uma mistura tanto no estado fresco quanto no endurecido.

#### 4.9 Resistência à compressão axial

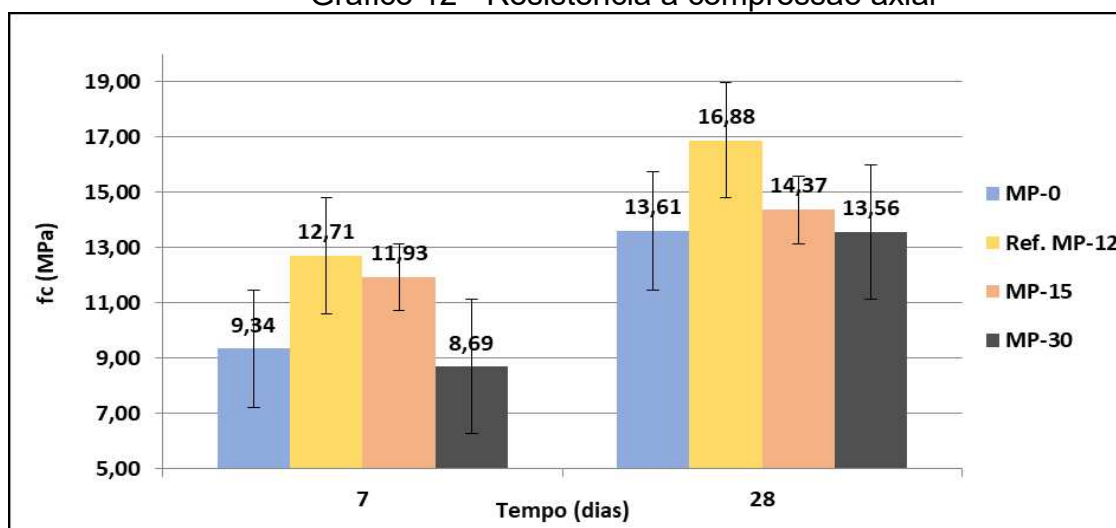
Os resultados de resistência à compressão axial estão apresentados na Tabela 21 e no Gráfico 12.

Tabela 21 - Resultados de resistência à compressão axial

Amostra	Média resistência a compressão axial		Erro (MPa)
	Idade (dias)	$f_c$ (MPa)	
Areia MP-0	7	9,34	0,11
	28	13,61	0,13
Ref. MP-12	7	12,71	0,08
	28	16,88	0,19
Areia MP-15	7	11,93	0,08
	28	14,37	0,12
Areia MP-30	7	8,69	0,13
	28	13,56	0,16

Fonte: elaborado pelo autor (2019)

Gráfico 12 - Resistência à compressão axial



Fonte: elaborado pelo autor (2019)

Todas as amostras submetidas ao ensaio de resistência à compressão axial puderam ser classificadas como Classe P6 conforme a ABNT NBR 13.281:2005. De modo geral os resultados de resistência à compressão entre as

amostras apresentaram valores próximos, mas com algumas ressalvas quanto aos valores de idade de 7 dias, que teve uma diferença entre o menor valor de 8,69 MPa, amostra MP-30, em relação ao maior valor da amostra de referência (Ref.MP-12) de 12,71 MPa, diferença essa de aproximadamente 32%. Logo, essa diferença entre essas amostras caiu para 20% na idade de 28 dias com a amostra de referência mantendo o maior valor.

Desse modo, a amostra Ref.MP-12 teve maior destaque, positivamente, em relação às outras amostras, as quais apresentaram valores semelhantes para ambas as idades de 7 e 28 dias. Cabe ressaltar o resultado da amostra MP-0, que nos ensaios a fresco apresentou desempenho inferior, principalmente no quesito trabalhabilidade e retenção de água, contudo obteve valor de resistência à compressão significativo. Embora todas as amostras apresentassem resultados de resistências aos 28 dias acima de 12 MPa, mesmo não sendo para assentamento estrutural, requer-se uma análise cautelosa quanto à possível rigidez da mistura e aplicação em revestimentos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se a necessidade do mercado da indústria da construção civil em desenvolver recursos tecnológicos que busquem racionalizar as etapas produtivas, garantindo qualidade e produtividade. Por isso, o sistema de revestimento exige cada vez mais pesquisas técnicas com produtos inovadores tais como argamassas industrializadas e estabilizadas, método este que garante regularidade no processo produtivo e contribui para maior qualidade e desempenho, aliado a eficiência e sustentabilidade.

Desse modo, buscando contribuir por meio da pesquisa científica, e após realizar todas as etapas proposta no programa experimental e análise dos resultados pode-se constatar a relevante função do agregado miúdo na composição da argamassa estabilizada, principalmente sua distribuição granulométrica, cuja qualidade da mistura está ligada diretamente a essa distribuição dos grãos, bem como a quantidade de microfinos que influenciam nas propriedades da mistura tanto no estado fresco quanto no endurecido.

Ficou evidenciado que uma argamassa estabilizada composta por uma areia com curva granulométrica contínua e baixo teor de material pulverulento (microfinos), em torno de 12 a 15% (amostras Ref. MP-12 e MP-15) proporciona os melhores resultados aos quais são indicativos de um bom desempenho das propriedades, tanto no estado fresco quanto no endurecido, visto que esses resultados são constatados nos ensaios de laboratório e na análise de qualidade percebida. Assim sendo, pode-se descrever algumas considerações sobre os resultados relevantes encontrados em algumas propriedades destas argamassas tais como:

- A consistência das amostras foram parametrizadas em  $300 \pm 10$ mm (*Flow Table*), contudo a quantidade de água de mistura foi variável em função da característica da composição granulométrica. Logo, a amostra que apresentou maior consumo de água foi a que possuía maior quantidade de material pulverulento (MP-30), devido à elevada quantidade de grãos e sua maior área específica. Entretanto, a amostra com ausência de microfinos, além de apresentar pouca trabalhabilidade devido a curva granulométrica ser do tipo aberta, resultou em uma mistura pouco coesa por falta de partículas finas em proporções adequadas para compor o

esqueleto granulométrico e proporcionar o empacotamento dos grãos. Por conseguinte, as argamassas constituídas por agregado miúdo com quantidade de microfinos limitados entre 12 a 15%, tendem a apresentar melhor trabalhabilidade, e um consumo de água até inferior em relação à mistura com ausência de materiais microfinos.

- A mistura com maior quantidade de material pulverulento (MP-30) proporcionou a maior densidade de argamassa no estado fresco em relação as outras amostras, de modo a apresentar uma mistura mais coesa e com maior capacidade de retenção de água. Contudo, esta argamassa apresentou redução na capacidade de incorporação de ar em função dos microfinos ocuparem os espaços vazios, elevando a densidade. A quantidade de material pulverulento limitado até 15%, proporcionou os melhores resultados das propriedades no estado fresco, bem como maior tempo de estabilização da mistura, sem elevar o consumo de aditivos estabilizador de hidratação e incorporador de ar.
- Com relação as propriedades da argamassa no estado endurecido, também ficou evidente que as misturas com teores de materiais pulverulentos com limites entre 12 a 15% apresentaram os melhores desempenhos. De modo que esses resultados podem ser justificados pelo equilíbrio da quantidade de finos presente na estrutura granulométrica da areia, favorecendo as propriedades no estado fresco e endurecido, como desempenho mecânico de resistência à compressão, tração na flexão e principalmente na resistência potencial de aderência à tração. Entretanto, com base nos resultados encontrados na amostra de referência (Ref. MP-12) e a amostra MP-15, poderia ser otimizado o consumo de cimento *Portland*, tendo em vista que pelos resultados dos ensaios mecânicos estas argamassas apresentaram características de rigidez, o que pode comprometer o desempenho do sistema de revestimento. Misturas mais plásticas e coesas tendem a apresentar melhor reologia e consequentemente estruturas endurecidas menos porosas e mais impermeáveis, proporcionando maior durabilidade ao sistema de revestimento.

Observou-se que não existe uma areia perfeita, muito menos uma curva granulométrica perfeita, no entanto, há limites e parâmetros granulométricos que permitem desenvolver uma composição de agregados que, seja por meio de britagem e/ou blendagem de materiais, atenda a necessidade de cada produto, conforme suas particularidades e aplicações. Por isso, se faz relevante o fomento da pesquisa científica para solucionar as demandas do mercado e proporcionar eficiência aos processos construtivos, bem como a sustentabilidade.

Desse modo, para melhor análise dos resultados obtidos na pesquisa, a Tabela 22 apresenta um resumo das propriedades avaliadas nas amostras das argamassas estabilizadas, conforme a variação na quantidade de material pulverulento presente na areia.

Tabela 22 - Resumo das propriedades avaliadas na argamassa

<b>Propriedades</b>	<b>Amostra MP-0</b>	<b>Amostra MP-15</b>	<b>Amostra MP-30</b>
Trabalhabilidade /Consistência	Baixo	Moderada	Elevado
Densidade fresca	Moderado	Moderado	Elevado
Teor de ar incorporado	Moderado	Moderado	Baixo
Retenção de água	Baixo	Moderado	Moderado
Densidade endurecida	Moderado	Moderado	Moderado
Tempo de estabilização	Baixo	Elevado	Moderado
Resistência à tração na flexão	Moderado	Moderado	Moderado
Resistência à compressão axial	Moderado	Moderado	Moderado
Resistência potencial aderência à tração	Baixo	Moderado	Moderado
Porosidade	Baixo	Moderado	Elevado
Absorção	Baixo	Moderado	Elevado
Capilaridade	Baixo	Moderado	Elevado

Fonte: Autor (2019)

## 6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- I. Aprofundar os estudos da influência dos materiais pulverulentos oriundos da areia nas propriedades reológicas das argamassas estabilizadas, contemplando análise do módulo de deformação.
- II. Realizar um estudo comparativo da influência dos materiais pulverulentos oriundos de agregado calcário e de gnaiss, quanto as propriedades físicas e mecânicas das argamassas estabilizadas.
- III. Aprofundar a pesquisa para determinar o quanto a variação da quantidade de material pulverulento influencia no tempo de estabilização da argamassa em condições de obra.
- IV. Realizar um estudo para verificar a influência da variação da quantidade de materiais pulverulentos nas propriedades das argamassas colantes.

## REFERÊNCIAS

AHN, N. *An Experimental Study on the Guidelines for Using Higher Contents of Aggregate Microfines in Portland Cement Concrete*. Ph.D. Dissertation. University of Texas at Austin. 2001.

ALMEIDA, S. L. M. & Luz, A. B. (2012). **Manual de Agregados para a construção civil** (2° ed.). Rio de Janeiro: CETEM.

ALVES, J. D. **Materiais de Construção**. Goiânia: UFG/CEFET, 1999. 298P.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NORMA MERCOSUL. **NM 2: Cimento, concreto e agregados – Terminologia - Lista de termos**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NORMA MERCOSUL. **NM 23: Cimento Portland - Determinação e massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13277: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos –Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13280: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.** Rio de Janeiro, 2005.

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

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

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, 2009.

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935: Agregados–Terminologia.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade.** Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529: Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas - Terminologia.** Rio de Janeiro, 2013.

ASTM C17-95 **Stm materials finer than 75mm no. 200 Sieve in mineral Aggregates by Washing.**

BAUER, L. A. FALCÃO. **Materiais de Construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000. 1v. 471p.

BAUER, E.; MOTA, N. M. B.; KRAUS, E.; PEREIRA, C. H. A. F. *Rendering mortars consistency and its relationship with water demand and fine particles content.* **e-mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**, v. 3, n. 2, p. 91–102, 2006.

BAUER, E; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M.L. M; CALDAS, L.R. **Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento.** Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Porto Alegre, RS, 2015.

BENINTER ARGAMASSA. **Recomendações Técnicas para Utilização Argamassa Express.** 1ª Edição. Campo Bom. RS, 2015.

<http://www.bennter.com.br/wpcontent/uploads/2015/07/Aplica%C3%A7%C3%A3o-e-Uso-das-Argamassas-Estabilizadas-Prontas-Bennter.pdf> link de consulta11/06/2018

CALAES, G. Gestão do Negócio de Agregados. In: TANNÚS, M. e CARMO. J.C. (eds.) Agregados para a Construção Civil no Brasil: Contribuições para Formulação de Políticas Públicas. Belo Horizonte, CETEC. 2007, 234 p.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Descolamento de revestimentos de argamassa aplicados sobre estruturas de concreto - Estudos de casos brasileiros.** 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. [S.l.]: [s.n.]. 2007.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. **Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas.** IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, ISSN 0103-9830, BT/PPCC/237, p. 1-18, 1999

CASALI, Juliana. M.; NETO Artur. M.; ANDRADE, Daniela. C. de, ARRIAGADA, Nicolle. T. Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para revestimento. In: **IX Simpósio brasileiro de tecnologia de argamassas**, 2011, Belo Horizonte. Anais eletrônicos. Disponível em: < <http://www.gtargamassas.org.br/eventos/file/426-avaliação-das-propriedades-do-estado-fresco-e-endurecido-da-argamassa-estabilizada-para-revestimento>>. Acesso em: 22 jun. 2019.

CHAVES, A.P.; PERES, A.E.C. **Teoria e Prática do Tratamento de Minérios.** Britagem, peneiramento e moagem, Vol 3. Signus Editora. São Paulo, 2006.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. C. **Argamassas de Revestimento: Características, propriedades e métodos de ensaio.** IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, Boletim Técnico nº 68, 1995.

CINCOTTO, M. A., ANGULO, S. C., CARNEIRO A. M. P. Composições Granulométricas de argamassas e seus efeitos no estado fresco e endurecido. **APFAC – Associação Portuguesa de Fabricantes de Argamassa de Construção.** Portugal, 2012. 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS. Documento 101.

COOSOLINO, L. C. & PEREIRA, A. H. (2010). **Módulos elásticos: visão geral e métodos de caracterização.** ATCP.

CUNHA, E.R.; TAVARES, L.M.M.; GONÇALVES, J.P.; TOLEDO FILHO, R.D.; ALMEIDA, S.L.M. **Produção de areia manufaturada em usina piloto.** In: II SUFFIB – Seminário: O Uso da Fração Fina da Britagem, São Paulo, 2005.

DAAKE, V., STEPHAN. *Impact of retarders by controlled addition on the setting, early hydration and microstructural development of different cements.* Article in **Magazine of Concrete Research**, 2016.

DAMO, G. F. **Avaliação do Desempenho de Diferentes Agregados Miúdos de Britagem em Concretos de Cimento Portland.** Dissertação (Mestrado) -

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 2011. 230p

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **DNIT ME 054. Equivalência de areia**, Brasília, 1997.

DUTRA, M. B. **Produção de Concreto com Areia de Granulometria Ótima Obtida do Resíduo da Mineração de Quartzo**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, Ouro Preto: 2015. 89p

FRASCÁ, M.H.B.O.; SARTORI, P. L. P. **Minerais e Rochas**. In: OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A., eds. Geologia de engenharia. São Paulo, ABGE, 1998. Cap. 2, p.15-38.

FRAZÃO, E. B. **Panorama da produção e aproveitamento de agregados para construção**. 2005. 45f. Monografia – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, 80 p.

FRAZÃO, E. B.; CAMPOS, E.; CALAES, G.D.; HERMANN, H. **Agregado para Construção Civil no Brasil**. Belo Horizonte: ANEPAC. 2007. 233p.

GIORDANI, C. (2014). **Viabilidade técnica do uso de resíduo do beneficiamento de arenito como substituição do agregado miúdo em argamassas**. Monografia de engenharia civil. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio grande do Sul.

GONÇALVES, J. P., TAVARES, L. M., FILHO, R.D., FAIRBAIN, E. M. R., CUNHA, E. R. Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. *Cement and Concrete Research*.v.37,n.6, p.924-932, jun./2007

HADDAD, L. D. O. **Estudo da Influência da Forma e Granulometria dos Agregados nas Propriedades das Argamassas de Revestimento**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte: 2015. 134p.

HARTMANN, C.; JEKNAVORIAN, A.; SILVA, D.; BENINI, H. **Aditivos químicos para concretos e cimentos**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) *Concreto: Ciência e Tecnologia*. Ipsilon Gráfica e Editora, São Paulo, 2011. Cap. 10. p. 347 - 380.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. PINI. São Paulo, 1993.

ISAIA, G.C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. 1v. 862p.

ISAIAS, G. C. (2011). *Concreto: ciência e tecnologia*. São Paulo: IBRACON.

LIMA, R.C.; ALMEIDA, S.L.M. **Areia Artificial**: uma alternativa para uso em construção civil. In: XIII Jornada de Iniciação Científica. Rio de Janeiro: CETEM, 2005. Anais.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 3. ed. São Paulo: Editora Ibracon, 2014. 1v. 674 p.

METHA, P. K. & MONTEIRO, P. J. (2014). **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. (2° ed.). IBRACON.

METSO MINERALS. **Manual de Britagem**. 6ª Edição. Sorocaba, 2005.

MME, M. d. (2019). *Plano nacional de Mineração 2030 (PNM- 2030)*. Brasília. <https://www.prospectusdobrasil.com/single-post/2019/05/15/Minas-de-agregados-ou-Pedreiras-Ind%C3%BAstria-de-Belo-HorizonteMG> link de consulta 15/05/2019.

NEVILLE, A. M. (2015). **Propriedades do concreto** (5° ed.). São Paulo: Pini.

NEVILLE, A. M.; BROOKS, J.J. **Tecnologia do Concreto**. 2.ed. São Paulo: Editora Bookman, 2013. 1v. 472p.

OLIVEIRA, V. C. **Estudo Comportamental da Formulação, dos Requisitos e das Propriedades das Argamassas Estabilizadas de Revestimento**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017. 245 p.

PENG Y., HU S., DING Q. *Dense Packing Properties of Mineral Admixtures in Cementitious Material*. **Particuology Science and Technology of Particles**. n.7, p.399-402, 2009.

RAMACHANDRAN V S *et al*, **Handbook of Thermal Analysis of Construction Materials**, Chapter 4, Noyes Publications, William Andrew Publishing, USA, 2002, fl. 162-169. 691 p.

RAMOS, M.G.; GAIO, A. E.; CALÇADA, L.M.L; **Estudo da influência da dosagem no tempo de início de pega da argamassa estabilizada**. Seminário de Pesquisa e Extensão e Inovação do IFSC. Santa Catarina, 2013.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete**, 3th Ed. E & FN Spon, Londres, 1999

RODRIGUES FILHO, H.E. **Avaliação dos Requisitos Normativos das Argamassas Industrializadas Associados a Critérios de Emprego e Utilização**. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

ROMANO, C.R.O. **Incorporação de ar em materiais cimentícios aplicados em construção civil**. Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ROMANO, C.R.O.; SCHREURS, H; SILVA, F.B.; CARDOSO, F.A; BARROS, M.M.S.B.; JOHN, V.M; PILEGGI, R.G. **Impacto do tipo de misturador e do tempo de mistura nas propriedades de argamassas industrializadas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 109-118, out./dez. 2009.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de Assentamento para Paredes de Alvenaria Resistente**; Estudo Técnico ET-91. 2.ed.São Paulo: ABCP, 1998. 44p

SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de Resíduos Minerais na Formulação de Argamassas para a Construção Civil**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 2008, 257 p.

SILVA, A. P., SEGADÃES, A. M., DEVEZAS, T. C. Optimization of the packing density of alumina powder distributions using statistical techniques. **Cerâmica**. v.50, n.316, p. 345-354, 2004

SILVA, Narciso Gonçalves. **Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 164 p.

SILVA, N. G., CAMPITELI, V. C. Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. **ANTAC – XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído**. Florianópolis/ SC, Brasil.2006


SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao Estudo das Propriedades das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília,2005.

VALVERDE, F. M. **Agregados para construção civil-Balanco Mineral Brasileiro**. Belém: SIMINERAL, Sindicato das indústrias minerais do Estado do Pará, 2001.

WEIDMANN, D. F. **Contribuição ao Estudo da Influência da Forma da Composição Granulométrica de Agregado Miúdo de Britagem nas Propriedades do Concreto de Cimento Portland**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: 2008. 295p

## ANEXOS

## ANEXO 1 – LAUDO TÉCNICO CIMENTO PORTLAND CPV ARI

<b>FABRICA: MATOZINHOS</b> <b>MARCA: CAMPEÃO</b>  <b>CRH BRASIL</b> <b>BOLETIM DE ANÁLISES DE CIMENTO</b>		<b>CPV ARI</b> <b>(NBR 16697:2018)</b> <b>ENSACADO</b>  <b>31/12/2019 a 29/02/2020</b>			
ENSAIOS QUÍMICOS					
ENSAIOS		NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697:2018 Req: (5.1.1)
Perda ao Fogo - PF		NBR NM18	%	5,16	≤ 6,5
Anidrido Sulfúrico - SO <sub>3</sub>		NBR14656	%	3,21	≤ 4,5
Resíduo Insolúvel - RI		NBR NM15	%	0,71	≤ 3,5
Óxido de Magnésio - MgO		NBR14656	%	0,80	≤ 6,5
ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS					
ENSAIOS		NBR Nº	UNIDADE	RESULTADOS	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697:2018 Req: (5.2.1)
Área Específica (Blaine)		NBR16372	cm <sup>2</sup> /g	4527	não aplicável
Massa Específica		NBR16605/17	g/cm <sup>3</sup>	3,08	não aplicável
Finura - Resíduo na Peneira de 0,075mm (#200)		NBR12826/14	%	1,17	≤ 6,0
Finura - Resíduo na Peneira de 0,044mm (#325)		NBR12826/14	%	5,87	não aplicável
Água da Pasta de Consistência Normal		NBR16606	%	28,6	não aplicável
Início de Pega		NBR16607	h:min	2:30	≥01:00
Fim de Pega		NBR16607	h:min	3:01	≤10:00
Expansibilidade de Le Chatelier - a Quente		NBR 11582	mm	0,00	≤ 5
RESISTENCIA A COMPRESSÃO (MPa) - NBR 7215					
Idade (Dias)	Média	Desvio	ESPECIFICAÇÃO NORMA NBR 16697:2018 Req: (5.2.1)		
1	25,1	2,19	≥ 14,0 Mpa		
3	35,7	2,25	≥ 24,0 MPa		
7	41,2	1,41	≥ 34,0 Mpa		
28	50,6	2,02	não aplicável		

## ANEXO 2 – FICHA TÉCNICA ADITIVO INCORPORADOR DE AR

## Aditivo para Concreto



## TecNol

### Aditivo plastificante e incorporador de ar para concreto e argamassa

#### DESCRIÇÃO

TEC-NOL é um aditivo líquido pronto para uso, isento de cloretos, destinado a plastificar o concreto e argamassa.

Atende aos requisitos da NBR-11.768 (tipo IAR). Compatível com a maioria dos tipos de cimento disponíveis no mercado.

#### PROPRIEDADES

TEC-NOL, usado corretamente, proporciona à argamassa as seguintes características:

- Redução da permeabilidade;
- Redução da exsudação;
- Redução da água de amassamento;
- Melhora a trabalhabilidade;
- Melhora a coesão;
- Reduz a retratação e o fissuramento;
- Aumenta a durabilidade.

#### APLICAÇÕES

TEC-NOL é recomendado para uso em argamassas. Substitui parcialmente a cal.

#### CONSUMO

TEC-NOL é utilizado na proporção de 50 a 200ml para 100kg de cimento. Recomenda-se a realização de ensaios de laboratório para se determinar o teor ideal de aditivo.

#### EMBALAGENS

TEC-NOL é fornecido em baldes de 20,4kg (20 litros), tambores de 204kg (200 litros) ou a granel.

#### ARMAZENAGEM

TEC-NOL deve ser armazenado em local abrigado, ventilado e seco, nas embalagens originais e intactas. Sua validade é de 12 meses após a data de fabricação.

#### INSTRUÇÕES DE SEGURANÇA

TEC-NOL poderá causar irritação em pessoas sensíveis. Deve-se evitar sempre a ingestão ou o contato com os olhos e a pele. Para manusear este produto recomendamos o uso de proteção adequada, tal como: luvas, óculos, aventais, etc... Procure sempre um médico em caso de anomalias.

#### TECNOL | FICHA TÉCNICA

Função Principal	Aspectos / cor	pH (ABNT 10908)	Massa específica (ABNT 10908)
Plastificante e incorporador de ar	Líquido de cor castanho	12,5 +/- 1,0	1,020 +/- 0,02 g/cm <sup>3</sup>

## ANEXO 3 –FICHA TÉCNICA ADITIVO ESTABILIZADOR DE HIDRATAÇÃO

Aditivo para Concreto



## EcoTec Mix

### Estabilizador de argamassa por tempo prolongado

#### DESCRIÇÃO

ECO-TEC MIX é um aditivo líquido pronto para uso, isento de cloretos, desenvolvido especialmente para estabilizar e plastificar argamassas, possibilitando a obtenção de uma consistência mais plástica e mantendo-as estáveis por até 72 horas. Compatível com os diferentes tipos de cimentos encontrados no mercado.

#### PROPRIEDADES

ECO-TEC MIX usado corretamente proporciona as argamassas os seguintes benefícios:

Estado Fresco:

- Melhora a trabalhabilidade;
- Reduz a quantidade de água de amassamento;
- Aumenta o rendimento da argamassa;
- Possibilita o bombeamento da argamassa.

Estado Endurecido:

- Melhora o acabamento superficial;
- Reduz a exsudação;
- Aumenta a coesão;
- Evita a retração e o fissuramento;
- Reduz a permeabilidade.

#### CAMPOS DE APLICAÇÃO

- Argamassas dosadas em central;
- Argamassas que se destinam a revestimentos internos e externos;
- Argamassas de alvenarias em geral.

#### CONSUMO

ECO-TEC MIX deve ser adicionado junto com a água de amassamento e é utilizado na proporção de 100 a 900ml para cada 100kg de cimento. Recomenda-se a realização de ensaios de laboratório para se determinar o teor ideal de aditivo.

#### EMBALAGENS

ECO-TEC MIX é fornecido em baldes de 24,4 Kg (20 litros) e tambores de 244 Kg (200 litros).

#### ARMAZENAGEM

ECO-TEC MIX deve ser armazenado em lugar abrigado, ventilado e seco, nas embalagens originais e intactas. Sua validade é de 12 (doze) meses após a data de fabricação.

#### INSTRUÇÕES DE SEGURANÇA

ECO-TEC MIX poderá causar irritação em pessoas sensíveis. Deve-se evitar sempre a ingestão ou o contato com os olhos e pele. Para manusear este produto recomendamos o uso de proteção adequada, tal como: luvas, óculos, aventais, etc.... Procure sempre um médico em caso de anomalias.

ECOTEC MIX   FICHA TÉCNICA			
Função Principal	Aspecto e cor (Visual)	pH (ABNT 10968)	Massa específica (ABNT 10968)
Plastificante estabilizador de argamassa	Líquido transparente levemente amarelado	12,5 +/- 1	1,220 +/- 0,02 g/cm <sup>3</sup>