



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL: ESTRUTURAS
E CONSTRUÇÃO CIVIL

AFRÂNIA GADELHA DIÓGENES

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM
AREIA DE BRITAGEM DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

FORTALEZA-CE

2016

AFRÂNIA GADELHA DIÓGENES

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO COM
AREIA DE BRITAGEM DA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Civil. Área de Concentração: Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral

FORTALEZA-CE

2016

À Deus e a minha família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde, persistência e determinação para conquistar esse sonho.

Ao Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral pela sua paciência, orientação e conduta ética transmitindo para mim seus conhecimentos.

Ao professores participantes da banca examinadora, Prof. Ricardo Emílio e Prof. Adeílto Cabral, pelas contribuições e sugestões.

Ao Departamento Nacional de Produção Mineral, pelo apoio financeiro.

Ao Prof. Ms. José Ramalho, por compartilhar o conhecimento.

Ao Prof. Ms. Aldo Oliveira, pelo apoio e incentivo.

Aos professores do mestrado, Bertini, Barros Neto, Vanessa, Heineck, que compartilharam pacientemente o seu vasto conhecimento.

Aos funcionários do LMCC, Helano, Allisson, Manuel, Adriano, Tiago e Maurício que foram verdadeiros companheiros durante as atividades experimentais.

Ao bolsista Lucas, que me auxiliou no desenvolvimento deste trabalho.

Aos funcionários do NUTEC, que me ajudaram no desenvolvimento dos ensaios realizados.

A Heloína, pelo compartilhamento dos dados da sua pesquisa para que eu pudesse desenvolver esse trabalho.

A minha mãe, Mundira que me deu forças nos momentos difíceis.

A minha irmã Alessandra, pelas palavras de incentivo.

A minha irmã Aldecira, pelas forças e incentivo para fazer o mestrado.

Ao meu cunhado Robério, pela ajuda na produção das argamassas.

Ao pedreiro João Filho, pela paciência e disponibilidade para fabricação das argamassas de revestimento e sua aplicação na parede.

A todos os colegas de pós-graduação, pela convivência, amizade e apoio.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização desse trabalho. Obrigada pela amizade, pelos conselhos e pelo carinho demonstrado.

“A gente tem que sonhar, senão as coisas
não acontecem.”
Oscar Niemeyer

RESUMO

A areia natural é um recurso mineral muito utilizado na indústria da construção para produção de argamassas e concreto. No entanto, a obtenção desse recurso mineral está se tornando cada vez mais difícil devido ao esgotamento das jazidas próximas aos grandes centros consumidores e às crescentes restrições ambientais. Por conta disso, a areia de britagem surge como uma alternativa à escassez de areia natural. O presente estudo tem por objetivo avaliar a viabilidade técnica da substituição de areia de leito de rio por areia de britagem na confecção de argamassas de revestimento, bem como avaliar a influência do teor de material pulverulento e de água nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. A metodologia consiste na confecção de argamassas de revestimento mistas com 3 tipos de areias de britagem provenientes de pedreiras da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), realizando 4 porcentagens de substituição, em volume, da areia natural por areia de britagem: 25%, 50%, 75% e 100%, e mais um referencial, 0% de areia de britagem, obtendo um total de 13 traços. As argamassas foram produzidas conforme os requisitos da norma ABNT NBR 13276:2005. Analisou-se o desempenho delas no estado fresco como: a quantidade de água necessária para uma consistência fixada (245 ± 10 mm) na mesa, a densidade de massa, o teor de ar incorporado e a retenção de água. Além disso, averiguou-se o comportamento delas no estado endurecido como: a densidade de massa, módulo de elasticidade, resistência à compressão e a tração na flexão, bem como a resistência de aderência à tração e o aparecimento de fissuras. Para análise dos resultados, utilizou-se a análise de variância (ANOVA) e verificou-se a viabilidade da utilização de areia de britagem em substituição à areia natural no teor de 25% para confecção de argamassas de revestimento, que de um modo geral, apresentou uma melhor trabalhabilidade com o menor consumo de água e um aumento nos valores de resistências mecânicas.

Palavras-chave: areia de britagem, argamassa, argamassa de revestimento com areia de britagem.

ABSTRACT

Natural sand is a mineral resource widely used in the construction industry for the production of mortars and concrete. However, obtaining this mineral resource is becoming increasingly difficult due to the depletion of deposits close to large consumer centers and the growing environmental constraints. Because of this, the crushing sand is an alternative to the shortage of natural sand. This study aims to assess the technical feasibility of riverbed sand replacement by crushing sand in the production of coating mortars, and to evaluate the influence of the content of powdery material and water in the properties of mortars in fresh and hardened. The methodology consists in making mixed mortar coating with 3 types of crushing sand from quarries in the Metropolitan Region of Fortaleza (RMF), making 4 replacement percentages by volume of natural sand for sand crushing: 25%, 50 %, 75% and 100%, and more a reference, 0% crushed sand, getting a total of 13 strokes. Mortars were produced according to requirements of the standard NBR 13276: 2005 and their performance was analyzed in the fresh state as the amount of water needed for a fixed consistency (245 ± 10 mm) on the table, the mass density, the content of incorporated air and water retention. Furthermore, their behavior in the hardened state was investigated: bulk density, elastic modulus, compressive strength and tension in flexion, as well as adhesion and tensile cracking. For data analysis, we used the variance analysis (ANOVA) and verified the viability of the use of crushed sand to replace natural sand in a 25% content for making mortar coating that generally, showed high workability with lower water consumption and an increase in the values of mechanical resistance.

Keywords: crushing sand, mortar, coating mortar with crushing sand.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Etapas de aplicação tradicional..... | 21 |
| Figura 2 – Esquema de aderência entre a argamassa e o substrato | 41 |
| Figura 3 – Mecanismo de aderência mecânica de uma argamassa de revestimento | 42 |
| Figura 4 – Argamassa de revestimento em 1 camada e em 2 camadas..... | 45 |
| Figura 5 – Avaliação visual da forma dos grãos de agregado..... | 50 |
| Figura 6 – Fluxograma do programa experimental..... | 61 |
| Figura 7 – Localização das pedreiras no mapa da RMF | 64 |
| Figura 8 – Distribuição granulométrica das areias de britagem..... | 66 |
| Figura 9 – Difratograma de Raio X das amostras de areias de britagem..... | 68 |
| Figura 10 – Composição esquemática de todas as misturas produzidas..... | 72 |
| Figura 11 – Argamassadeira mecânica..... | 74 |
| Figura 12 – Equipamento de retenção de água | 13 |
| Figura 13 – Pesagem do conjunto (argamassa + papel filtro + funil) | 13 |
| Figura 14 – Realização do ensaio de ultrassom..... | 14 |
| Figura 15 – Corpos-de-prova da argamassas a serem rompidos com 3, 7 e 28 dias | 14 |
| Figura 16 – Corpos-de-prova rompidos..... | 14 |
| Figura 17 – Corpo-de-prova na máquina EMIC..... | 15 |
| Figura 18 – Corpo-de-prova na máquina EMIC..... | 15 |
| Figura 19 – Localização da parede construída ao lado do LMCC..... | 16 |
| Figura 20 – Parede construída ao lado LMCC com os 13 painéis argamassados | 17 |
| Figura 21 – Execução do ensaio | 17 |
| Figura 22 – Execução do ensaio | 17 |
| Figura 23 – Resultados das quantidades de água | 19 |
| Figura 24 – Densidade de massa média no estado fresco..... | 22 |
| Figura 25 – Teor de ar incorporado das argamassas..... | 24 |
| Figura 26 – Valores médios obtidos do ensaio de retenção de água..... | 26 |
| Figura 27 – Densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias | 27 |
| Figura 28 – Módulo elasticidade dinâmico aos 28 dias | 29 |
| Figura 29 – Resistência à tração na flexão média, aos 3 dias | 30 |
| Figura 30 – Resistência à tração na flexão média, aos 7 dias | 31 |

| | |
|--|----|
| Figura 31 – Resistência à tração na flexão média, aos 28 dias | 31 |
| Figura 32 – Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 3 dias | 33 |
| Figura 33 – Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 7 dias | 33 |
| Figura 34 - Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias | 33 |
| Figura 35 – Resultados médios do ensaio de resistência de aderência à tração | 35 |
| Figura 36 – Painel e medição de fissuras da argamassa TG 100% | 37 |
| Figura 37 – Painel e medição das fissuras da argamassa TD 100% | 37 |
| Figura 38 – Resultados das medições de fissuras das argamassas | 38 |
| Figura 39 – Estudo comparativo dos resultados das medições de fissuras | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Classificação das argamassas quanto aos critérios definidos por Carasek, (2007)..... | 19 |
| Tabela 2 – Classificação das argamassas quanto à suas funções definida por Carasek, (2007)..... | 20 |
| Tabela 3 – Espessuras admissíveis da camada de revestimento para parede..... | 22 |
| Tabela 4 – Classificação do agregado miúdo..... | 25 |
| Tabela 5 – Fatores internos e externos que influenciam a trabalhabilidade na argamassa..... | 27 |
| Tabela 6 – Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco..... | 32 |
| Tabela 7 – Os parâmetros químicos, físicos e mecânicos do cimento CP II Z 32 utilizado | 62 |
| Tabela 8 – A caracterização química da cal..... | 63 |
| Tabela 9 – Os ensaios de caracterização e índices físicos realizados nas areias. ... | 64 |
| Tabela 10 – As areias de britagem classificada por grupos | 65 |
| Tabela 11 – Dimensão Máxima Característica e módulo de finura | 66 |
| Tabela 12 – Os índices físicos dos agregados miúdos | 67 |
| Tabela 13 – Classificação petrográfica das areias de britagem. | 68 |
| Tabela 14 – Resultados do ensaio de FRX das areias de britagem..... | 69 |
| Tabela 15 – Classificação de forma 2D dos grãos das areias..... | 70 |
| Tabela 16 – Classificação de angularidade das areias | 70 |
| Tabela 17 – Descrição dos traços em massa com os teores de substituição da areia natural por areia de britagem | 73 |
| Tabela 18 – Consumo dos materiais por m ³ de argamassa | 73 |
| Tabela 19 – Análise de variância do consumo de água das argamassas com areia A | 20 |
| Tabela 20 – Análise de variância do consumo de água das argamassas com areia D | 20 |
| Tabela 21 – Análise de variância do consumo de água das argamassas com areia G | 20 |
| Tabela 22 – Significância do consumo de água das argamassas | 21 |
| Tabela 23 – Caracterização das areias de britagem e natural | 21 |

| | |
|---|----|
| Tabela 24 – Análise de variância da densidade de massa das argamassas | 22 |
| Tabela 25 – Análise de variância do teor de ar incorporado das argamassas | 25 |
| Tabela 26 – Significância de retenção de água das argamassas | 26 |
| Tabela 27 – Significância de densidade de massa das argamassas | 28 |
| Tabela 28 – Significância do módulo de elasticidade aos 28 dias..... | 29 |
| Tabela 29 – Significância da resistência à tração na flexão aos 3, 7 e 28 dias..... | 32 |
| Tabela 30 – Significância da resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias..... | 34 |
| Tabela 31 – Significância da resistência de aderência à tração aos 28 dias..... | 36 |
| Tabela 32 – Medições de espessuras das fissuras..... | 39 |
| Tabela 33 – Resultados dos ensaios realizados nesse estudo..... | 40 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | Contextualização e Justificativa..... | 13 |
| 1.2 | Objetivos | 16 |
| 1.2.1 | <i>Objetivo geral.....</i> | 16 |
| 1.2.2 | <i>Objetivos específicos.....</i> | 16 |
| 1.3 | Estrutura da dissertação..... | 17 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 2.1 | Argamassas e seus tipos..... | 18 |
| 2.2 | Argamassa de revestimento | 20 |
| 2.2.1 | <i>Materiais constituintes.....</i> | 22 |
| 2.2.1.1 | Cimento Portland | 23 |
| 2.2.1.2 | Cal | 23 |
| 2.2.1.3 | Água de amassamento | 24 |
| 2.2.1.4 | Agregados miúdos..... | 24 |
| 2.2.2 | <i>Propriedades das argamassas no estado fresco</i> | 26 |
| 2.2.2.1 | Trabalhabilidade, consistência e plasticidade..... | 26 |
| 2.2.2.2 | Coesão | 29 |
| 2.2.2.3 | Retenção de água | 30 |
| 2.2.2.4 | Densidade de massa e o teor de ar incorporado | 32 |
| 2.2.3 | <i>Propriedades das argamassas no estado endurecido.....</i> | 34 |
| 2.2.3.1 | Compatibilidade com o substrato..... | 34 |
| 2.2.3.2 | Densidade de Massa | 35 |
| 2.2.3.3 | Módulo de Elasticidade Dinâmico..... | 35 |
| 2.2.3.4 | Resistência à compressão e à tração na flexão | 38 |
| 2.2.3.5 | Resistência de Aderência à tração | 39 |
| 2.2.3.6 | Durabilidade..... | 44 |
| 2.2.3.7 | Fissuras | 45 |
| 2.3 | Materiais não convencionais | 48 |
| 2.3.1 | <i>Areia de britagem</i> | 49 |
| 2.4 | Argamassas de revestimentos com a utilização de areia de britagem.. | 54 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODO..... | 60 |
| 3.1 | Introdução | 60 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 3.2 | Materiais constituintes das argamassas | 62 |
| 3.2.1 | <i>Cimento Portland</i>..... | 62 |
| 3.2.2 | <i>Cal</i>..... | 62 |
| 3.2.3 | <i>Água</i>..... | 63 |
| 3.2.4 | <i>Areia natural</i>..... | 63 |
| 3.2.5 | <i>Areia de britagem</i> | 63 |
| 3.3 | Caracterização das areias..... | 64 |
| 3.3.1 | <i>Análise Granulométrica</i>..... | 65 |
| 3.3.2 | <i>Índices físicos</i>..... | 67 |
| 3.3.3 | <i>Caracterização Petrográfica</i> | 67 |
| 3.3.4 | <i>Caracterização Mineralógica</i> | 68 |
| 3.3.5 | <i>Análise Química</i>..... | 69 |
| 3.3.6 | <i>Análise da forma dos grãos</i>..... | 70 |
| 3.4 | Método de pesquisa | 71 |
| 3.4.1 | <i>Formulação das argamassas</i>..... | 71 |
| 3.4.2 | <i>Produção e preparação das argamassas</i> | 74 |
| 3.4.2.1 | Amassamento..... | 74 |
| 3.4.3 | <i>Ensaio das argamassas</i> | 75 |
| 3.4.3.1 | Índice de consistência | 75 |
| 3.4.3.2 | Densidade de massa no estado fresco..... | 75 |
| 3.4.3.3 | Teor de ar incorporado | 76 |
| 3.4.3.4 | Retenção de água | 76 |
| 3.4.3.5 | Densidade massa no estado endurecido..... | 13 |
| 3.4.3.6 | Módulo de elasticidade dinâmico..... | 13 |
| 3.4.3.7 | Resistência à tração na flexão..... | 14 |
| 3.4.3.8 | Resistência à compressão..... | 15 |
| 3.4.3.9 | Resistência de aderência à tração..... | 15 |
| 3.4.4 | <i>Análise dos dados dos ensaios das argamassas</i>..... | 18 |
| 4 | APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS | 19 |
| 4.1 | Apresentação e análise dos resultados..... | 19 |
| 4.1.1 | <i>Resultados de propriedades no estado fresco</i> | 19 |
| 4.1.1.1 | Teor de água | 19 |
| 4.1.1.2 | Densidade de massa | 22 |
| 4.1.1.3 | Teor de ar incorporado | 24 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 4.1.1.4 | Retenção de água | 25 |
| 4.1.2 | Resultados de propriedades no estado endurecido..... | 27 |
| 4.1.2.1 | Densidade de massa | 27 |
| 4.1.2.2 | Módulo de Elasticidade Dinâmico..... | 29 |
| 4.1.2.3 | Resistência à tração na flexão..... | 30 |
| 4.1.2.4 | Resistência à compressão..... | 33 |
| 4.1.2.5 | Resistência de aderência à tração..... | 35 |
| 4.1.3 | Medições das fissuras nas argamassas..... | 37 |
| 4.2 | Discussão dos resultados | 40 |
| 5 | CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 42 |
| 5.1 | Conclusões dos resultados das propriedades no estado fresco..... | 42 |
| 5.2 | Conclusões dos resultados das propriedades no estado endurecido .. | 42 |
| 5.3 | Desempenho das argamassas com areias de britagem..... | 43 |
| 5.4 | Sugestões para trabalhos futuros..... | 44 |
| | REFERÊNCIAS..... | 45 |
| | APÊNDICE A – RESULTADOS BRUTOS DO CONSUMO DE ÁGUA DAS ARGAMASSAS | 65 |
| | APÊNDICE B – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DO ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO DAS ARGAMASSAS | 66 |
| | APÊNDICE C – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE AR INCORPORADO DAS ARGAMASSAS | 68 |
| | APÊNDICE D – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DAS ARGAMASSAS | 70 |
| | APÊNDICE E – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO DAS ARGAMASSAS AOS 28 DIAS..... | 72 |
| | APÊNDICE F – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DAS ARGAMASSAS AOS 28 DIAS.... | 75 |
| | APÊNDICE G – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO NA FLEXÃO DAS ARGAMASSAS AOS 3, 7 E 28 DIAS..... | 78 |
| | APÊNDICE H – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS AOS 3, 7 E 28 DIAS..... | 83 |

**APÊNDICE I – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS
RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DAS ARGAMASSAS AOS 28 DIAS**

.....88

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Justificativa

O Brasil vem passando por um processo de urbanização desde 1950 com o adensamento dos centros urbanos e por consequência causando graves problemas ambientais e sociais. Contudo a expansão das áreas urbanas se deve ao aumento populacional e ao grande desenvolvimento tecnológico, o que faz a construção civil apresenta-se positivamente, com o aumento de moradias e a ampliação da infraestrutura e negativamente, com a constante degradação dos recursos naturais devido ao elevado consumo de matérias-primas (SANTOS, 2008; CRISTO *et al.*, 2014).

O consumo dos recursos naturais e de energia aumenta na proporção do crescimento da população mundial e do seu nível econômico. Almeida (2005) menciona que os materiais mais utilizados na indústria da construção são o cimento, a cal e os agregados. De acordo com Guacelli (2010), os agregados são utilizados principalmente no preparo de argamassas e concretos, mas também possuem outras aplicações no campo da engenharia, tais como: base para as estradas de rodagem, lastros de vias férreas, elemento filtrante, jateamento para pintura, paisagismo, entre outros.

Conforme a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados – ANEPAC (2015), a produção mineral no mundo em 2014 foi de 45 bilhões de toneladas de agregados. O consumo de agregados está em torno de 50.000 toneladas a cada quilômetro construído de metrô, 9.800 toneladas a cada quilômetro construído de estrada pavimentada, 68 toneladas a cada casa popular de 50 metros quadrados, 3000 toneladas a cada quilômetro de manutenção de estrada, 2000 toneladas a cada quilômetro construído de pavimentação urbana e 1.400 toneladas a cada edifício de 1.000 metros quadrados.

Ainda segundo a ANEPAC (2015), o consumo no Brasil em 2014 foi de 741 milhões de toneladas, dos quais 52,7 da região Norte, 154,3 da região Nordeste, 67,5 da região Centro-Oeste, 347 da região sudeste e 119,5 da região sul. Foram consumidos 439 milhões de toneladas de areia e cerca de 302 milhões de toneladas de brita.

Almeida (2005) relata que cerca de 90% da areia natural consumida no Brasil é extraída do leito de rios e os 10% restantes são de outras fontes como várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos.

A mineração de areia gera impactos sócio-econômico-ambientais que podem ser positivos como a geração de empregos diretos e indiretos decorrentes da extração, transporte, comercialização desse material e os pagamentos de impostos que são revertidos em serviços à população. Ao mesmo tempo, causa impactos negativos como a destruição da mata ciliar, a eliminação da cobertura vegetal sobre a areia, o afugento de animais, a poluição das águas e dos solos devido ao uso de combustíveis fósseis, a instabilidade e a alteração dos cursos dos rios (LELLES *et al.* 2005; ANNIBELLI e SOUSA FILHO, 2006; BUEST NETO, 2006).

A obtenção de areia natural para utilização em argamassas e em concretos vem se tornando cada vez mais difícil devido ao esgotamento de jazidas localizadas próximas aos grandes centros urbanos e às restrições impostas pelos órgãos de fiscalização ambiental para a extração desse material (GONÇALVES, 2005; ALMEIDA e SANTOS, 2008; ISHIKAWA, 2009; GUACELI, 2010). Segundo Palaniraj (2003), as fontes disponíveis de areia natural estão ficando cada vez mais escassas devido ao rápido crescimento dos setores da construção.

Conforme Sbrighi Neto (2005), Barbosa *et al.* (2008), Klein (2008), Arnold e Kazmiercak (2009) e Drago *et al.* (2009), a exaustão das jazidas de areia natural é um resultado de um longo período de exploração que torna necessário a busca desse material em locais cada vez mais distantes fazendo com que o seu custo se eleve devido ao maior consumo de combustível para o efetuar o seu transporte para os grandes centros.

Canellas e D'Abreu (2005), Barbosa *et al.* (2008), Arnold e Kazmiercak (2009), Moraes *et al.* (2010) e Alvino *et al.* (2014) comentam que a preocupação com a utilização dos recursos naturais tem promovido pesquisas voltadas para o segmento da construção civil, visto que este setor é o responsável pelo elevado consumo desses recursos e de energia gerando impactos ambientais significativos. Assim, conforme Coelho e Brito (2011), Santos *et al.* (2012), Mattana *et al.* (2012), Oliveira *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2014), esse setor, reconhecendo a importância das questões ambientais, tem procurado encontrar soluções que sejam capazes de combinar crescimento econômico e preservação ambiental.

Para Barbosa *et al.* (2008) e Lohani *et al.* (2012), a indústria da construção está buscando o aproveitamento de materiais alternativos oriundos de subprodutos em processos construtivos, com o objetivo de promover a redução de custos, a agilidade de execução, a durabilidade e a melhoria das propriedades do produto final, visando a redução da extração dos recursos naturais.

Segundo Gonçalves (2005) e Gonçalves *et al.* (2007), os materiais alternativos para substituição do agregado natural são:

- a reciclagem através da utilização de materiais alternativos (resíduos sólidos);
- a utilização de areia a partir dos finos de britagem e
- a utilização da areia artificial formada a partir da britagem do agregado graúdo.

Portanto, ao longo dos anos, vários estudos têm sido realizados no campo da engenharia civil buscando um esforço significativo em utilizar materiais não convencionais para a produção de argamassas e concretos, como: borrachas, pneus, plásticos, embalagens PET, casca de arroz, pó de pedra, areia de britagem dentre outros, com a substituição total ou parcial da areia natural. Além desses, vêm se estudando o uso de agregados reciclados de construção e demolição, dentre eles: cerâmicas, concretos, louças sanitárias, vidros, entre outros.

Mahzuz *et al.* (2011) mencionam que o pó de pedra é produzido como subproduto obtido pelos trituradores de pedra. Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2009), a areia de britagem é considerada uma areia artificial, ou seja, aquela produzida por um processo industrial. Segundo Drago *et al.* (2009), a areia de britagem também é conhecida como agregado miúdo de pedra britada, pó-de-pedra ou areia artificial.

A areia de britagem é utilizada na pavimentação com concreto e em vários tipos de elementos pré-moldados como os blocos: de vedação, estruturais e para pavimentação além da fabricação de asfalto (MENOSSI, 2004; RUSSO, 2011; LOHANI *et al.*, 2012). Outra opção de uso desse material seria em concretos e em argamassas, pois a sua viabilidade poderá obter benefícios ao meio ambiente como a diminuição do uso da areia natural e a redução do impacto ambiental.

Rato (2006) afirma que é de suma importância a compreensão do comportamento das argamassas às diversas solicitações para que seja viabilizado a sua utilização. Assim sendo, considera-se fundamental a realização dessa pesquisa

que estuda a utilização parcial e total da areia de britagem na substituição da areia de leito de rio, denominada areia natural, em argamassa de revestimento. A relevância desta pesquisa está em razão da necessidade da redução do consumo da areia de leito de rio, visando, principalmente, diminuir o impacto ambiental. Foi escolhida para estudo a argamassa de revestimento pelo fato de que esse é um produto amplamente usado na construção civil.

Portanto, para o desenvolvimento desta pesquisa obteve-se o apoio financeiro do DNPM que patrocinou o projeto intitulado “Caracterização das areias de britagem das pedreiras da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) e sua utilização em argamassas e em concretos”, em parceria com a Universidade Federal do Ceará (UFC). Essa parceria surgiu com a finalidade de obter informações técnicas sobre o uso das areias de britagem em compósitos cimentícios. Dessa forma, foram desenvolvidas por Heloína Costa em 2015 as caracterizações das areias britadas e a avaliação das mesmas quando aplicadas no concreto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

A presente dissertação tem como objetivo avaliar o desempenho de argamassas de revestimento produzidas com a substituição de areia natural por areias de britagem provenientes de pedreiras da RMF.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Determinar o teor de água necessário para produzir argamassas de mesma trabalhabilidade;
- Avaliar as propriedades no estado fresco e endurecido quando se substitui a areia natural pelas areias de britagem;
- Avaliar a formação de fissuras nas argamassas de revestimento quando se substitui a areia natural pelas areias de britagem;

1.3 Estrutura da dissertação

O presente estudo está dividido em 5 capítulos conforme a seguir.

O capítulo 1 consiste da parte introdutória do trabalho, da justificativa da pesquisa com a identificação do problema, seguido dos objetivos da pesquisa e a apresentação da estrutura do trabalho.

No capítulo 2 apresenta-se a pesquisa bibliográfica sobre argamassas e a incorporação de areia de britagem nas mesmas, de forma a permitir um conhecimento mais amplo nessa área. Para tal, recorreu-se a dissertações e teses sobre o tema, assim como os artigos de revistas e congressos nacionais e internacionais.

No capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos utilizados na pesquisa. Para este fim, foi primeiramente elaborado um fluxograma do programa experimental que consistiu em definir todas as etapas iniciando pela coleta de materiais, caracterização dos mesmos, formulações das argamassas e ensaios realizados conforme as normas em vigor.

O capítulo 4 consiste nas apresentações, análises e discussões dos resultados obtidos.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões que resultaram da realização deste trabalho, assim como as sugestões para trabalhos futuros com questões não discutidas no presente estudo.

Por fim, em seguida são apresentadas as referências bibliográficas citadas ao longo do texto, além do apêndice onde são apresentados os resultados brutos obtidos em todos os ensaios realizados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada uma abordagem sobre as argamassas, os seus tipos e definições dando ênfase em argamassa de revestimento, materiais constituintes e suas propriedades no estado fresco e endurecido. Em sequência, são abordados os conhecimentos sobre a areia de britagem e suas características, e por fim, as informações mais relevantes encontradas no âmbito científico sobre argamassas de revestimento com a incorporação de areia de britagem.

2.1 Argamassas e seus tipos

Conforme a EMO (2001), a Europa produz mais de 100 tipos diferentes de argamassas com propriedades químicas e mecânicas distintas, de modo a se adequar à grande variedade de obras de engenharia civil. A norma NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica e define os tipos de argamassas pelo seu emprego e sua aplicação como:

- a. Argamassa para assentamento:
 - argamassa para assentamento em alvenaria de vedação: indicada para a ligação de componentes de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função de vedação;
 - argamassa para assentamento em alvenaria estrutural: indicada para a ligação de componente de vedação (como blocos e tijolos) no assentamento em alvenaria, com função estrutural;
 - argamassa para complementação da alvenaria (encunhamento): indicada para fechamento de vedação, após a última fiada de componentes.
- b. Argamassa para revestimento de paredes e tetos: caracterizado camada de regularização
 - argamassa para revestimento interno: indicada para revestimento de ambientes internos da edificação e
 - argamassa para revestimento externo: indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos da edificação em contato com o meio externo.
- c. Argamassa de uso geral:

- Indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.
- d. Argamassa para reboco:
- Indicada para cobrimento de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento. Também conhecido como massa fina.
- e. Argamassa decorativa de camada fina:
- Indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina.
- f. Argamassa decorativa em monocamada:
- Indicada para revestimento de fachadas, muros e outros elementos de edificação em contato com o meio externo, aplicada em camada única e com fins decorativos.

Carasek (2007) classifica as argamassas com base em vários critérios apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação das argamassas quanto aos critérios definidos por Carasek, (2007).

| Critérios de classificação | Tipo |
|---|--|
| Quanto à natureza do aglomerante | Argamassa aérea Argamassa hidráulica |
| Quanto ao tipo de aglomerante | Argamassa de cal Argamassa de cimento Argamassa de cimento e cal Argamassa de gesso Argamassa de cal e gesso |
| Quanto ao número de aglomerantes | Argamassa simples Argamassa mista |
| Quanto à consistência da argamassa | Argamassa seca Argamassa plástica Argamassa fluida |
| Quanto à densidade de massa da argamassa | Argamassa leve Argamassa normal Argamassa pesada |
| Quanto à forma de preparo ou fornecimento | Argamassa preparada em obra Mistura semipronta para argamassa Argamassa industrializada Argamassa dosada em central |

Fonte: Carasek, (2007)

De acordo com Mattos (2001), a argamassa é considerada mista quando composta essencialmente de agregados miúdos e de aglomerantes, que em geral são cimento *Portland*, cal (que pode ser substituída por adições) e/ ou gesso. As características dos materiais constituintes, a proporção entre os mesmos, o processo de mistura e a execução das argamassas interferem nas suas propriedades, na natureza da base e nas condições do meio ambiente. As argamassas de são materiais porosos e possuem diversas aplicações. A Tabela 2 apresenta a classificação das argamassas conforme as suas funções na construção proposto por Carasek (2007).

Tabela 2 – Classificação das argamassas quanto à suas funções definida por Carasek, (2007).

| Função | Tipo |
|--|---|
| Para construção de alvenarias | Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria) Argamassa de fixação ou encunhamento (alvenaria de vedação) |
| Para revestimento de paredes e tetos | Argamassa de chapisco Argamassa de emboço Argamassa de reboco Argamassa de camada única Argamassa de alta resistência decorativa monocamada |
| Para revestimento de pisos | Argamassa de contrapiso Argamassa de alta resistência para piso |
| Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos) | Argamassa colante para assentamento de peças cerâmicas Argamassa de rejuntamento |
| Para recuperação de estruturas | Argamassa de reparo |

Fonte: Carasek, (2007)

2.2 Argamassa de revestimento

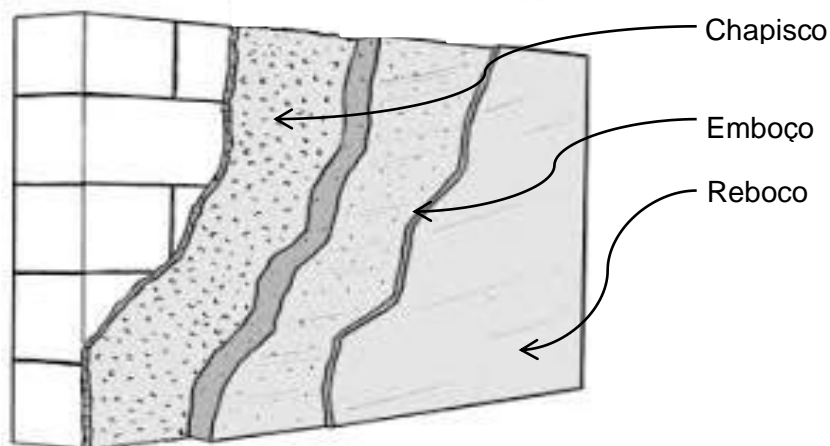
A norma brasileira da ABNT NBR 13529:2013 define argamassa de revestimento como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, que apresentam propriedades de aderência e endurecimento. A norma ainda classifica a argamassa de revestimento quanto à natureza, tipo e número de aglomerantes. A

norma da ABNT NBR 7200:1998 esclarece que os termos argamassa inorgânica e a argamassa de revestimento são equivalentes.

Segundo Bhavikatti (2010), as argamassas tradicionais de revestimento são compostas tipicamente por uma parte de cimento para três partes de areia (1:3) ou quando contém cal hidratada, a mistura passa a ser 1:1:6 e 1:2:9 (cimento:cal:areia). Carasek (2007) informa que as argamassas de revestimento podem ser aplicadas em paredes, tetos e pavimentos recebendo na maioria das vezes acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, pedras decorativas, entre outros.

Conforme Veiga (2003), as características finais das argamassas de revestimentos dependem das técnicas de sua aplicação. É comum a aplicação desse produto em três camadas distintas, como ilustrado na Figura 1. No entanto, devido à racionalização e a redução de custos na construção civil, tem sido desenvolvidos sistemas de revestimento de chapisco mais camada única (emboço e reboco).

Figura 1 – Etapas de aplicação tradicional



Fonte: Adaptado de Filho *et al.* (2001).

Todas essas camadas desempenham funções importantes e diferentes. A primeira camada, chapisco, tende garantir a boa aderência do revestimento ao substrato e homogeneizar a absorção do substrato principalmente quando este é muito poroso. A segunda camada tem a tendência de assegurar, a verticalidade, a regularidade do conjunto e a impermeabilização. Por fim, a última camada tem como papel, a proteção das camadas subjacentes além de conferir um acabamento adequado ao reboco e determinar o seu acabamento final.

A norma da ABNT NBR 13749:2013 apresenta a dimensão da espessura da argamassa de revestimento para parede em local interno e externo. Porém, Bauer (2005) recomenda as espessuras admissíveis de cada camada de revestimento a ser aplicado em paredes internas e externas conforme está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Espessuras admissíveis da camada de revestimento para parede

| Camadas de revestimento | Espessura (mm) | |
|-------------------------|----------------|---------|
| | Interno | Externo |
| Emboço | 5 a 20 | 15 a 25 |
| Emboço e reboco | 10 a 30 | 20 a 30 |
| Camada única | 5 a 30 | 15 a 30 |

Fonte: Bauer, (2005)

Sabbatini (1984), Maciel *et. al.* (1998), Silva e Furtado (2001), Cavaco (2005), Bauer (2005), Carasek (2007) e Cincotto *et al.* (2007) afirmam que as argamassas de revestimento exercem um papel de fundamental importância no setor da construção civil como o recobrimento das vedações de um edifício apresentando algumas funções consideradas essenciais como protegê-las contra a ação de agentes de deterioração evitando a degradação precoce das mesmas, regularizar e impermeabilizar as superfícies horizontais e verticais de modo a tornar-se acabamento final ou a receber outros revestimentos, aumentar a durabilidade e reduzir os custos de manutenção dos edifícios. Os autores ainda mencionam que argamassas de revestimento cumprem outras funções como: isolamento termo acústico, estanqueidade à água e aos gases, segurança ao fogo e acabamento final, contribuindo para funções estéticas e de valorização da edificação.

2.2.1 Materiais constituintes

Os componentes das argamassas variam muito em tamanho, características físicas e químicas sendo eles, os responsáveis pelo desempenho da mesma (HENDRICKX, 2009). Rato (2006) explica que as características dos constituintes a ser utilizado são: o tipo de ligante, a composição mineralógica e granulométrica da areia e, ainda, as adições ou aditivos.

2.2.1.1 Cimento Portland

Na construção civil, o cimento *Portland* é um pó fino que apresenta propriedades aglomerantes, aglutinante ou ligantes e que sofre um processo de endurecimento sob ação da água, muito utilizado na produção de concretos e argamassas (ABCP, 2002). Por ser um aglomerante hidráulico, apresenta características de hidratação e endurecimento por meio de reações químicas ao colocá-lo em contato com a água formando um produto final estável em meio aquoso (NEVILLE, 1997; CRUZ, 2008; GUACELLI, 2010).

Klein (2008) menciona que as características físicas e químicas contidas no cimento influenciam a sua hidratação e que por isso existem no mercado diversos tipos de cimento *Portland* com características específicas para cada finalidade. Para Silva (2014), o cimento age como um ligante no preenchimento dos vazios existentes entre os agregados, formando assim uma pasta que endurece devido às reações de hidratação. Porém, é necessário controlar a quantidade de cimento para a produção de argamassa de revestimento.

2.2.1.2 Cal

A norma brasileira ABNT NBR 7175:2003 define a cal hidratada como um pó seco obtido pela hidratação da cal virgem, constituído de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio.

A capacidade aglomerante da cal hidratada é quantificada pelo teor dos hidróxidos presentes no produto e qualquer cal hidratada tem uma fração de óxidos não hidratados (FREITAS, 2010; MATTANA, 2013). A cal é o aglomerante mais antigo utilizado na construção civil (CINCOTTO *et al.*, 2007).

Segundo Guimarães (2002), a cal tem muitas aplicações na indústria da construção e o seu uso como aglomerante nas argamassas forma com a água e os agregados uma mistura pastosa que penetra nas reentrâncias e vazios dos blocos cerâmicos ou cimentados ocasionando a recristalização dos hidróxidos e de sua reação química com anidrido carbônico do ar.

2.2.1.3 Água de amassamento

A água é um elemento fundamental na confecção das argamassas, pois ela reage com os aglomerantes hidráulicos, promovendo a sua hidratação e estimulando as suas propriedades aglutinantes, além de contribuir na consistência necessária a sua aplicação. Portanto, para que água não interfira no comportamento da argamassa, esta deverá ser limpa e isenta de impurezas (CAVACO, 2005).

Haque *et al.* (2012) e Hoque *et al.* (2013) explicam que a água atua como um elemento de ligação ativando o cimento e servindo de liga para os componentes da argamassa. Os autores Groot (1998); Carasek *et al.* (2001) e Costa (2006) afirmam que a água é responsável por levar a pasta de cimento hidratada para os poros e cavidades do substrato, favorecendo a aderência entre os mesmos e influenciando diretamente nos resultados da argamassa no estado endurecido.

2.2.1.4 Agregados miúdos

Não existe no Brasil uma norma específica para a caracterização de agregados miúdos para argamassas, portanto a norma utilizada como base é a ABNT NBR 7211:2009 que destina a especificação de agregados para concretos. Esta norma define o agregado miúdo como sendo uma areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis ou a mistura de ambas, ainda que sejam aqueles cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm.

DNPM (2009) descreve que os agregados podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são os encontrados na natureza, tais como: areia cascalho ou pedregulho e os artificiais são aqueles obtidos por algum processo industrial que são: pedras britadas, areias artificiais, escórias de alto-forno e argilas expandidas, entre outros.

Os agregados miúdos são muito utilizados na construção civil para confecção de argamassas e concretos. Neles podem aparecer argila e húmus que é produto oriundo de decomposição de matéria vegetal, sendo mais frequentemente encontrados na areia natural (NEVILLE, 1997). Para Carasek (2007) e Hoque *et al.* (2013), a areia é um componente da argamassa que dá cor, textura e coesão. Ela deve estar isenta de impurezas, tais como: carvão, sais solúveis, argila, matéria

orgânica, mica ou outros materiais externos. Salientando que essas impurezas podem ser eliminadas com a sua lavagem e o seu peneiramento evitando os problemas futuros.

Araújo (2014) informa que o uso de agregados miúdos na fabricação de argamassas torna o material mais econômico e a sua escolha, quanto à natureza, peso específico, dimensão e o formato das partículas influencia na qualidade da argamassa e nas suas características. Portanto, para a obtenção de análise quantitativa da distribuição de tamanhos de grãos em um agregado faz-se um estudo da sua granulometria, segundo a norma da ABNT NBR 248:2003.

Conforme Angelim *et al.* (2003), a distribuição granulométrica, assim como o módulo de finura e a dimensão máxima característica do agregado miúdo, interfere diretamente no comportamento das argamassas intervindo nas suas propriedades nos estados fresco e endurecido. A norma da ABNT NBR 7211:2009 classifica o agregado miúdo como zonas utilizáveis e ótimas. Selmo (1989) recomenda adotar os intervalos do módulo de finura (MF) para a classificação dos agregados miúdos de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação do agregado miúdo.

| Módulo de Finura (MF) | Tipo de areia |
|------------------------------|----------------------|
| MF < 2,0 | Fina |
| 2,0 < MF < 3,0 | Média |
| MF > 3,0 | Grossa |

Fonte: SELMO (1989).

Sugiuo (1973) informa que as principais características dos grãos estão relacionadas com os parâmetros texturais. Portanto, Araújo (2001) e Tristão (2005), sugere a realização de análise dos parâmetros texturais devido à diversidade de areias existentes. Os autores informam que os parâmetros texturais dos grãos são analisados pelos tamanhos encontrados no ensaio de granulometria de modo a classificar o formato, em arredondamento e esfericidade, além de averiguar a textura superficial, a área superficial e a composição mineralógica.

Tristão (2005) revela que os parâmetros texturais dos grãos influenciam nos índices de vazios, ou seja, quanto maior a esfericidade, o arredondamento e o fator de forma dos grãos, menores são os índices de vazios das areias. Arnold (2011) explica que a dimensão dos grãos, distribuída na forma de frações

granulométricas, altera o volume de vazios de modo que quanto maior a fração, menor o volume de vazios. Segundo Briggs e Evertsson (1998), o comportamento do empacotamento dos grãos está relacionado com a forma e a distribuição da dimensão dos grãos.

2.2.2 Propriedades das argamassas no estado fresco

As argamassas de revestimentos apresentam diversas propriedades. A seguir, são apresentadas as propriedades no estado fresco consideradas mais importantes para que esse produto possa cumprir as suas funções que lhe é exigido.

2.2.2.1 Trabalhabilidade, consistência e plasticidade

A trabalhabilidade é definida pela facilidade de manuseio da argamassa por parte do operário ao realizar a sua aplicação sendo possível verificar a sua compacidade e o seu rendimento (VEIGA, 1997; SILVA, 2006; GUACELLI, 2010). O método utilizado pelo operário é com referência ao seu estilo de trabalho e as técnicas que aprendeu durante a sua formação profissional (13-MR/RILEM, 1982).

Sabbatini (1994) explica que a trabalhabilidade ideal é quando a argamassa ao ser utilizada tende a se espalhar facilmente e a permanecer plástica por tempo suficiente até que a operação seja completada. Carasek (2007) informa que o nível de trabalhabilidade está relacionado com a leveza das argamassas. Dessa forma, é possível reduzir o esforço do operário ao aplicar a argamassa e conseqüentemente, aumentar a sua produtividade.

Conforme Araújo (2014), a trabalhabilidade é a principal propriedade das argamassas no estado fresco, pois ela está ligada com a facilidade que pode ser misturada, transportada e aplicada sobre diversos substratos, permanecendo de forma homogênea. Contudo, essa propriedade também influencia a boa aderência ao substrato e a facilidade de acabamento superficial interferindo assim nas propriedades no estado endurecido (13-MR/RILEM, 1982; FREITAS, 2010). A Tabela 5 apresenta os fatores internos e externos que influenciam a trabalhabilidade nas argamassas de revestimento definidos por Bauer (2005).

Tabela 5 – Fatores internos e externos que influenciam a trabalhabilidade na argamassa

| Fatores internos | Fatores externos |
|--|---|
| Teor de água definido em função do índice de consistência necessária | Tipo de mistura |
| Relação proporcional entre aglomerantes e agregados | Tipo de transporte |
| Natureza e quantidade do uso de aglomerantes (cal, finos argilosos, orgânicos, etc). | Tipo de aplicação no substrato |
| Curva granulométrica, forma e textura dos grãos do agregado | Operações de sarrafeamento e desempenho |
| Natureza e quantidade de aditivos | Características da base de aplicação – tipo de preparo, rugosidade, absorção, dentre outros |

Fonte: Adaptado de Bauer (2005).

Segundo Angelim *et al.* (2003), a distribuição granulométrica do agregado miúdo interfere na trabalhabilidade, na porosidade da argamassa e no consumo de água e aglomerantes. Neto (2012) explica que a forma lamelar dos grãos dos agregados miúdos produzem argamassas menos trabalháveis que aquelas com o formato regular. Entretanto, Carneiro *et al.* (1997) informa que a areia com granulometria muito uniforme, independente da forma dos grãos, compromete a trabalhabilidade da argamassa devido ao enrijecimento que impede o deslizamento dos grãos da areia entre si demandando um maior consumo de pasta.

Silva *et al.* (2009) afirmam que os aditivos incorporadores melhoram a trabalhabilidade de concretos e argamassas e são utilizados para reduzir a quantidade de água na mistura. Casali *et al.* (2003) e Polito *et al.* (2008) informam que a cal é outro elemento utilizado para melhorar a trabalhabilidade, porém a desvantagem é a redução da resistência de aderência das argamassas de revestimento.

Conforme Guimarães (2002), uma argamassa mista de cimento e cal hidratada tende a atuar como lubrificante sólido envolvendo o grão do agregado facilitando o espalhamento e melhorando a trabalhabilidade da pasta. Portanto, a utilização da cal na argamassa contribui para a homogeneidade e facilita a trabalhabilidade (RAGO e CINCOTTO, 1995).

A consistência é a propriedade que permite à argamassa resistir às deformações que lhe são impostas (13-MR/RILEM, 1982). Carasek (2007) explica que o ajuste que o pedreiro faz no sentido de corrigir a trabalhabilidade da

argamassa altera a relação água/aglomerante e define a consistência da argamassa. Para Silva (2006), a consistência está relacionada com a quantidade de água influenciando não apenas a relação água/aglomerante, mas também a relação aglomerante/areia, a granulometria da areia e a qualidade do aglomerante.

Silva (2006) e Morais (2011) relatam que a consistência é classificada em três formas: secas (a pasta preenche os vazios entre os grãos), plásticas (a pasta forma uma fina película e atua como lubrificante na superfície dos grãos dos agregados) e fluidas (grãos imersos na pasta).

Para Gomes (2008), a consistência da argamassa pode ser comprometida pelo teor de água, pela forma, pela textura e pela granulometria dos agregados. Além desses fatores, Morales (2015) afirma que essa propriedade também é influenciada pelo teor de ar incorporado na argamassa, pelo tipo e pela quantidade de aglomerantes.

A norma brasileira ABNT NBR 13276:2005 descreve os procedimentos para a determinação do índice de consistência que serve de parâmetro para argamassa industrializada ou argamassa dosada em obra. A norma ABNT NBR 7215:1996 apresenta a mesa de índice de consistência.

Luís (2013) informa que para minimizar o erro desse ensaio na produção de argamassas é necessário obedecer à mesma ordem de mistura dos componentes, ao tempo de amassadura, ao modo de colocação, assim como a compactação da argamassa no molde e o tempo de pancadas na mesa de consistência.

A plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a deformar-se sem ruptura, mantendo a deformação depois de retirado o esforço (13-MR/RILEM, 1982). Cascudo *et al.*, (2005) informa que para obter uma plasticidade adequada em cada mistura é necessário uma quantidade ótima de água de modo a obter uma boa consistência, mas para isso é necessário estudos sobre a proporção e a natureza dos materiais.

Para Bauer (2005), as argamassas com plasticidade adequada são aquelas que ao serem aplicadas sobre o substrato conseguem deformar-se, espalhando-se de forma a cobrir a rugosidade da base, além de conseguir reter água e se manter trabalhável. Amba *et al.* (2009) informa que a partir do momento em que a argamassa é aplicada à base ocorrem mudanças consideráveis, como a

redução de água pela sua evaporação em relação ao ambiente externo, a sucção de água pelo substrato e o consumo de água pelo processo de hidratação.

Segundo Morales (2015), para a confecção de argamassas deve-se utilizar os finos de forma adequada para que não interfira no aumento do consumo de aglomerantes e no custo de produção. Gomes *et al.* (1995) afirmam que o percentual de finos passante pela peneira 0,075 mm influenciam na consistência e na plasticidade das argamassas.

Rago e Cincotto (1999) informam que para obter maior plasticidade e melhor trabalhabilidade à argamassa é necessário o uso da cal e esses fatores contribuem para uma maior produtividade na execução do revestimento. Segundo Guimarães (2002), esse fato é devido a cal ser um material muito fino e com uma grande área específica, o que faz ela agir como um lubrificante sólido entre os grãos. Mattana (2013) afirma a argamassa com a incorporação de cal se torna fácil de espalhar sem separação da água ou segregação do material sólido da mistura.

A reologia básica das argamassas está associada com a consistência e a plasticidade (13-MR/RILEM, 1982). Conforme Silva (2014), a trabalhabilidade é uma propriedade complexa e de grande importância e pode ser caracterizada pela consistência e plasticidade que a argamassa apresenta.

2.2.2.2 Coesão

Cincotto *et al.* (1995) explicam que a coesão está nas forças físicas de atração entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas do aglomerante. Portanto, Freitas (2010) define que a coesão é a união e a aglutinação dos materiais mais finos constituintes da argamassa. Dessa forma, Miranda e Selmo (1999) afirmam que o cimento, o agregado miúdo e os materiais aglomerantes ou inertes utilizados para a produção de argamassas que apresentam partículas menores que 0,075 mm promovem a plasticidade e a coesão.

Segundo Pereira (2012), as argamassas possuem a característica de ter uma coesão elevada, porém os instrumentos utilizados para a sua aplicação interferem no bom contato desse material com a superfície. Recena (2012) afirma que o excesso de água deixa a argamassa mais fluida e menos trabalhável ocorrendo à perda de coesão. Rago e Cincotto (1995) explicam que a adição de água tende a aumentar a plasticidade, mas quando a mistura se torna muito úmida,

há uma separação das partículas ocorrendo perda de coesão e produzindo a segregação.

Rago e Cincotto (1995) informa que a utilização da cal na argamassa contribui para aumentar a coesão entre as partículas sólidas. Margalha *et al.* (2007) explicam que as areias contribuem para fornecer a coesão nas argamassas de cal, pois os grãos de areia em contato com o ligante contribui para a separação das partículas de cal favorecendo a carbonatação e permitindo as retrações na argamassa.

2.2.2.3 Retenção de água

Segundo Silva (2014), esta propriedade representa a capacidade da argamassa de reter a água de amassamento. Cincotto *et al.* (1995), Carasek (2007) e Melo (2012) afirmam que a retenção de água propicia a argamassa manter-se trabalhável mesmo quando esse material está sujeito a perda de água de amassamento seja por evaporação ou absorção de água pela base ou por sucção. Dessa forma, Maciel *et al.* (1998) explicam que a ocorrência de uma rápida perda de água afeta a aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica e a durabilidade.

Detriché e Maso (1986) afirmam que a capacidade de retenção de água está associada aos seguintes fatores:

- A interferência das condições climáticas durante o período de cura da argamassa;
- A proporção de aglomerantes e a distribuição granulométrica dos agregados que interferem nos poros da argamassa;
- A composição química dos aglomerantes que influenciam na velocidade de formação dos capilares na argamassa, devido à secagem da pasta e
- A espessura do revestimento argamassado, pois quanto mais espesso, maior será a retenção.

Além disso, Cincotto *et al.* (1995) e Carasek (2007) informam que a retenção de água interfere no contato da argamassa com o substrato de forma a influenciar nas propriedades da argamassa no estado endurecido, como a retração por secagem, a resistência mecânica, além da resistência de aderência do

revestimento e a durabilidade. Mattana *et al.* (2012) afirmam que quanto maior a retenção de água da argamassa, melhor a condição da sua aplicação.

Segundo Araújo (2014), a capacidade de retenção de água sofre alterações em função dos materiais constituintes da argamassa. Silva *et al.* (2009) e Braga *et al.* (2012) verificaram um aumento nos valores de retenção de água com a incorporação de finos. Tristão e Machado (2003) explicam que a quantidade de água deve ser o suficiente para molhar a superfície do aglomerante e do agregado permitindo as reações de hidratação do cimento e da carbonatação da cal influenciando a boa aderência entre o material e a base.

Para Maciel *et al.* (1998), Mattana *et al.* (2012) e Recena (2012), a argamassa com maior retenção de água interfere nas reações de hidratação adequada do cimento e contribui para uma lenta perda de água de amassamento e um ganho de resistência. Segundo Hoque *et al.* (2013), as partículas finas do cimento contribuem não somente para a retenção de água da argamassa mas também para a plasticidade.

Conforme Melo *et al.* (2007), as argamassas mistas de cal e cimento apresentam uma excelente capacidade de retenção de água devido a cal reter água em torno de suas partículas, sendo esta uma característica importante no desempenho da argamassa, relacionada ao sistema alvenaria/revestimento, por não permitir a absorção excessiva de água pela alvenaria. A granulometria da cal beneficia a maior retenção de água da argamassa e uma adequada hidratação do cimento devido às dimensões pequenas de suas partículas que favorecem o endurecimento e a aderência da argamassa ao substrato e conseqüentemente um aumento de resistência (GUIMARÃES, 2002; QUARCIONI e CINCOTTO, 2005).

Os autores Rago e Cincotto (1999) e Guimarães (2002) mostraram experimentalmente que a cal quando misturada à argamassa propicia propriedades importantes no estado fresco como retenção de água por não permitir a sucção excessiva de água para o substrato, eleva a plasticidade, melhora a trabalhabilidade, absorve melhor os acomodamentos estruturais iniciais garantindo à argamassa maior durabilidade. Morales e Tristão (2011) realizaram um trabalho de pesquisa com cales e verificaram que a cal CH-I apresentou maior retenção de água do que a cal CH-III. A norma brasileira ABNT NBR 13277:2005 descreve os procedimentos para realização deste ensaio.

2.2.2.4 Densidade de massa e o teor de ar incorporado

Segundo Freitas (2010), o valor da densidade de massa ou massa específica da argamassa está relacionado com a proporção de mistura agregado/aglomerante e a distribuição granulométrica do conjunto. A compactidade da argamassa é definida pela relação proporcional dos grãos e o seu tamanho, pois os vazios maiores são preenchidos por grãos menores e os demais vazios são preenchidos novamente por partículas menores ainda, e assim por diante (MCGEARY, 1961; CASTRO e PANDOLFELLI, 2009).

Segundo Freitas e Costa (2010), a densidade de massa da argamassa determina indiretamente o volume de vazios incorporados pelos aditivos e a quantidade de água de amassamento perdida pela evaporação. Contudo, a Tabela 6 apresenta a classificação da massa específica das argamassas de revestimento, bem como os principais materiais utilizados para a sua produção proposto por Carasek (2007).

Tabela 6 – Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco

| Argamassa | Massa específica - M (g/cm ³) | Principais agregados utilizados | Usos e observações |
|-----------|---|--|-------------------------------|
| Leve | < 1,40 | Vermiculita, perlita, argila expandida | Isolamento térmico e acústico |
| Normal | $2,30 \leq M \leq 1,40$ | Areia de rio (quartzo) e calcário | Aplicações convencionais |
| Pesada | > 2,30 | Barita (sulfato de bário) | Blindagem de radiação |

Fonte: Carasek (2007)

Mattana *et al.* (2012) afirma que quanto menor o valor mais se economiza material, porém valores muito baixo podem caracterizar muito ar dentro da argamassa e prejudicar a resistência. Conforme Melo (2012), quanto mais leve for à argamassa, mais trabalhável será ao longo do tempo, o que contribuirá para a redução do esforço do operário ao executar o processo de aplicação e, conseqüentemente, aumentará a sua produtividade.

Segundo Guimarães (2002), a presença da cal na argamassa colabora para a diminuição da absorção de água, aumenta a compactidade com o tempo e,

por ser um material alcalino impede a oxidação da ferrugem, além de agir como um agente bactericida e fungicida.

Para Carasek (2007) e Melo (2012), a densidade de massa da argamassa sofre alterações por conta do teor de ar, principalmente pela utilização de aditivos incorporadores de ar e pela massa específica dos materiais constituintes nesse produto. Carneiro e Cincotto (1999) constataram que a massa específica aparente da argamassa pode ser prevista a partir da massa unitária da areia utilizada na sua composição. Logo, o aumento dessa massa específica é inversamente proporcional ao da areia influenciando no aumento do consumo de aglomerantes e na ocupação dos espaços existentes no agregado.

Mansur *et al.* (2007) definem o ar incorporado como os vazios formados pela entrada de ar que são observados no interior da argamassa. Dolch (1996) informa que o ar incorporado está presente na matriz cimentícia na fase endurecida sendo representado por pequenas bolhas de ar dispersas. Esse efeito pode estar associado com a utilização de agentes incorporadores de ar adicionados à mistura. Freitas (2010) explica que o teor de ar incorporado promove o bloqueio da passagem de água para o interior da argamassa pelo fenômeno da capilaridade, ou seja, as bolhas podem cessar parte dos poros capilares das argamassas.

Kim e Robertson (1997) e Ohama (1998) ressaltam que a incorporação do ar ocorre devido ao modo de mistura da argamassa que introduz ar nesse processo. Esse processo promove a fusão de pequenas bolhas que formam bolhas maiores, as quais tendem flutuar sobre a superfície, até romper-se. Contudo, Carasek e Scartezini (1999), afirmam que essa propriedade afeta diretamente o desempenho dos revestimentos após o endurecimento. Romano *et al.* (2009) informam que as alterações geradas no estado fresco são refletidas nas propriedades no estado endurecido.

Alves (2002) afirma que as argamassas no estado fresco que apresentam ar incorporado influenciam no ganho de consistência e na sua plasticidade, ao contrário do que ocorre no concreto, que ganha fluidez e perde consistência. Afridi *et al.* (1994) e Ohama (1998) informa que o teor de ar incorporado favorece a trabalhabilidade das argamassas porém atua de forma desfavorável em relação às resistências mecânicas. Monte *et al.* (2007), Romano *et al.* (2009), Freitas (2010) e Mattana *et al.* (2012) explicam que quanto maior o teor de ar incorporado, melhor a

trabalhabilidade e deformabilidade da argamassa porém menor a resistência mecânica.

Tristão (1995) constatou em sua pesquisa que as argamassas de revestimento com traços 1:1:6 e 1:2:9, apresentaram baixo valor de massa específica e teor de ar incorporado elevado. A argamassa do primeiro traço apresentou massa específica $1,965 \text{ kg/dm}^3$ e teor de ar variando entre 3,5% a 3,9%. Já a argamassa do segundo traço, apresentou massa específica $1,950 \text{ kg/dm}^3$ e teor de ar de 2,6%. O autor ainda revela que tais valores influenciam na trabalhabilidade das argamassas.

Alves (2002) informa que a formação de microbolhas presentes nas argamassas permite melhorar a coesão, reduzir tendência à exsudação ajudando na retenção de água além de diminuir a retração por secagem e a retração plástica. O autor verificou em seu trabalho que as argamassas de revestimento apresentaram teores de ar incorporado de 19,5% a 21%, aos 28 dias de idade, provocando a retração por secagem entre 0,0716% e 0,0960% mesmo sendo executadas com diferentes teores de aditivo. A norma NBR 13278 (ABNT, 2005) preconiza os métodos para realização do ensaio de densidade de massa e o teor de ar incorporado a partir da massa específica das argamassas.

2.2.3 Propriedades das argamassas no estado endurecido

A seguir são apresentadas as propriedades das argamassas no estado endurecido que são consideradas mais relevantes para que esse produto possa cumprir as suas exigências funcionais.

2.2.3.1 Compatibilidade com o substrato

Para Quarcioni *et al.* (2001), as argamassas de revestimento são materiais porosos por consequência da sua composição, da sua aplicação, da sua secagem, além da porosidade e textura da sua base.

Bauer (2005) afirma que a escolha do substrato deve estar associada as suas características físicas, como: textura, porosidade, capacidade de sucção de água e propriedades mecânicas. Para Silva (2014), a argamassa de revestimento deve apresentar compatibilidade com o substrato no âmbito da geometria, da

mecânica, da física e da química. Dessa forma é importante que a espessura do revestimento a ser aplicado sobre a alvenaria seja suficiente para dissimular os defeitos do substrato e corrigir suas irregularidades retratando assim uma boa compatibilidade geométrica. A autora afirma que a compatibilidade mecânica está relacionada com as características mecânicas das argamassas que devem ser inferiores as do substrato, de forma a não danificar o mesmo. No que se refere à compatibilidade física, a autora relaciona a boa aderência da argamassa ao substrato, à condutibilidade térmica do material e às trocas de umidade entre o substrato e o exterior.

Para Veiga (1997), a compatibilidade química é refletida na capacidade da argamassa de revestimento em resistir ao ataque dos sais eventualmente existentes no substrato.

2.2.3.2 *Densidade de Massa*

Segundo Mattana *et al.* (2012) e Araújo (2014), a densidade de massa é definida pela relação entre a massa e o volume aparente da argamassa. Os autores produziram argamassas de revestimento e verificaram que quanto menor o valor, maior era o seu rendimento. A norma ABNT NBR 13280:2005 determina as orientações para realização do ensaio de densidade de massa no estado endurecido.

2.2.3.3 *Módulo de Elasticidade Dinâmico*

A qualidade e a durabilidade de uma argamassa de revestimento estão diretamente ligadas com capacidade da argamassa em absorver deformações sob a ação de tensões provenientes de carregamento, de variações térmicas ou da retração e pode ser avaliada através do ensaio de módulo de elasticidade pelo método estático ou dinâmico (SILVA, 2006; BASTOS *et al.*, 2010; NENO, 2010; PEDRO, 2011).

Segundo Bastos (2001), o módulo de elasticidade estático é determinado pelo ensaio de flexão em pequenas placas de argamassas. É realizado medidas de flechas formadas no meio do corpo-de-prova bi-apoiado e aplicado em gráfico para obtenção da curva x deslocamento. Silva e Campiteli (2008); Bastos *et al.* (2010) e

Neno (2010), o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico é realizado por meio de aparelhos de ondas ultrassônicas, aonde é realizado leituras e aplicado em fórmula dada pela norma brasileira ABNT NBR 15630:2008.

Silva e Campiteli (2008), Silva *et al.* (2009) e Araújo (2014) esclarecem que o módulo de elasticidade de uma argamassa é representado pela resistência do material à deformação elástica. Quanto menor o valor do módulo, maior é a deformabilidade de uma argamassa (SILVA, 2006; PEDRO, 2011; MATTANA *et al.*, 2012; ARAUJO, 2014).

Veiga (1997) relata que existem diferenças nos módulos de elasticidade da base e do revestimento permitindo o seu deslocamento. O autor explica que o módulo de elasticidade do revestimento pode ser mais elevado do que substrato e dessa forma, o revestimento suportará a tensões de compressão mais fortes e, se for de baixa espessura, tenderá a encurvar e a provocar deslocamentos localizados ou generalizados.

A elasticidade da argamassa no estado endurecido ocorre devido à deformação da mesma quando sujeitas a tensões diversas e retorno a dimensão inicial com a presença ou não de ruptura (SABBATINI, 1984; CINCOTTO *et al.*, 1995). Souza (2006), Santos (2008) e Jochem (2012) explicam que a fissuração da argamassa de revestimento ocorre quando a argamassa é impedida de se deformar ou quando ela não possui elasticidade suficiente ou quando ultrapassa o seu limite elástico, o que provocará o surgimento de tensões de tração no revestimento apresentando rupturas e a ocorrência destas compromete a funcionalidade do revestimento no que refere à impermeabilização e a aderência. Pedro (2011) informa que um revestimento pouco suscetível à fissuração apresenta um módulo de elasticidade reduzido.

Para Bastos *et al.* (2010), o aparecimento de fissuras ocorre nas primeiras idades dos revestimentos de argamassas principalmente em revestimentos destinados às fachadas de edifícios. Sendo elas em maiores quantidades quando se eleva os valores de resistência mecânica, os quais são proporcionais ao consumo de cimento adotado para a produção das argamassas (NAKAKURA E CINCOTTO, 2004; SILVA E CAMPITELI, 2008). Bauer (2005) informa que ao aumentar o consumo de cimento, aumenta-se o módulo de elasticidade das argamassas de forma que estas apresentam menor capacidade de deformação e estão sujeitas à fissuração.

As argamassas com presença de cal hidratada apresentam baixo módulo de elasticidade, ou seja, absorvem melhor as pequenas movimentações das construções e reduzem o aparecimento de trincas, fissuras e até o descolamento dos revestimentos (ABCP, 2009).

Portanto, Mattana (2013) afirma que o desempenho dos revestimentos ao longo do tempo está associado com o módulo de elasticidade e essa propriedade está relacionada com o transporte de massa, calor e esforços mecânicos. Bastos *et al* (2010) afirmam que o módulo de elasticidade elevado nas argamassas condicionam ao pior desempenho dos revestimentos em situações em que haja tensões causadas por variações de temperatura e umidade.

Silva e Campiteli (2008) e Silva *et al.* (2009) explica que o módulo de elasticidade interfere nas resistências à compressão, de tração na flexão e de aderência à tração. Romano *et al.* (2015) informam que o uso de aditivos retentores de ar nas argamassas melhora as propriedades no estado fresco como a redução de densidade de massa, aumenta a trabalhabilidade e no estado endurecimento, reduz o módulo de elasticidade.

Silva e Campiteli (2008) verificaram experimentalmente que as argamassas confeccionadas com areia britada apresentaram maior módulo de elasticidade do que aquelas preparadas com areia natural, o que resultou em um maior número de fissuras no revestimento. Os autores constataram que à medida que se aumenta a relação entre areia/aglomerante e cal/cimento, diminuem as resistências mecânicas e o módulo de elasticidade.

A norma brasileira ABNT NBR 15630:2008 propõe a metodologia para desenvolvimento do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico através de aparelho de ultrassom que propaga ondas longitudinais em um corpo-de-prova de argamassa. Para Silva e Campiteli (2008), Silva *et al.* (2009) e Neno (2010), o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico utilizando aparelhos de medição de ondas ultrassônicas é considerado rápido, simples e não é destrutivo.

Silva e Campiteli (2006) afirmam que o aumento do teor de material pulverulento e a diminuição do teor de água nas argamassas contribui para a compacidade do conjunto aglomerante e agregado e para o aumento da densidade de massa. Com isso, a velocidade de propagação da onda ultra-sônica é maior e, conseqüentemente, o tempo de propagação da onda é menor, aumentando, assim, o módulo de elasticidade.

Silva e Campiteli (2006) e Mattana *et al.* (2012) informam que o módulo de elasticidade pode ser utilizado para monitorar o desempenho de um revestimento de argamassa quanto as resistências mecânicas e quanto ao surgimento de fissuras.

2.2.3.4 Resistência à compressão e à tração na flexão

A resistência mecânica está relacionada com a capacidade das argamassas de resistirem aos esforços de tensões à tração, à compressão e ao cisalhamento, ocasionados pelos efeitos das condições ambientais ou pelas cargas estáticas ou dinâmicas que ocorrem nas edificações (CINCOTTO *et al.*, 1995; MACIEL *et al.* 1998; NAKAKURA e CINCOTTO, 2004). Santos (2008) informa que essa relação está ligada à abrasão superficial, ao impacto e a retração.

Freitas (2010) afirma que os revestimentos de argamassas estão mais associados à resistência à tração na flexão do que à resistência à compressão. Para esse autor, os revestimentos que não suportam bem os esforços apresentando os valores baixos de resistência à tração na flexão, e conseqüentemente o aparecimento de fissuração.

A argamassa deve ser capaz de absorver pequenas deformações sem apresentar ruptura ou microfissuras que podem comprometer a sua aderência, estanqueidade e durabilidade (NAKAKURA e CINCOTTO, 2004; MEHTA e MONTEIRO, 2006 e CARASEK, 2010). Mello (2011) relata em sua pesquisa que a energia requerida para o aparecimento de fissuras sob compressão é significativamente maior do que a necessária quando submetida ao ensaio de tração na flexão.

Para Martins e Assunção (2010), a resistência mecânica das argamassas é influenciada pela natureza e consumo dos ligantes e agregados, pois nas argamassas de cimento, a resistência à tração e à compressão diminui com o aumento da proporção de agregados. A resistência de argamassa ou do concreto é largamente afetada em função dos agregados miúdos (SHARMIN *et al.*, 2006).

Segundo Margalha (2011), a utilização de agregados nas argamassas está relacionada com a elevada resistência e a estabilidade dimensional. Neto (2012) informa que a forma dos grãos do agregado influencia na resistência mecânica e ao desgaste, ou seja, as argamassas com os agregados miúdos de

forma lamelar apresentam maior aderência da pasta aos seus grãos promovendo uma maior resistência à tração e ao desgaste.

Silva e Campiteli (2006) verificaram que as argamassas fabricadas com a mesma relação cal/cimento apresentavam menores resistências à compressão, à tração na flexão, de aderência à tração e módulo de elasticidade à medida que aumentava a relação agregado/aglomerante, independentemente do tipo de areia.

Vargas e Comba (1984) afirmam que o uso elevado de percentuais de finos de argila reduz a resistência das argamassas. Kruger *et al.* (2008) verificaram que a incorporação de 5% e 10% de pó de vidro conduz a maiores valores de resistência à compressão. De acordo com Hoque *et al.* (2013), alguns cimentos *Portland* auxiliam a trabalhabilidade e a plasticidade da argamassa fornecendo uma resistência inicial para a mesma.

Silva e Campiteli (2006) revelam que o consumo de água e o teor de cimento são variáveis determinantes nas resistências à compressão, à tração na flexão e de aderência à tração e no módulo de elasticidade. Segundo Freitas (2010), o tipo de agregado miúdo influencia nos resultados obtidos nos ensaios de resistência mecânica, possivelmente devido à densidade de massa no estado endurecido além da quantidade de material pulverulento e da água adicionados às argamassas.

Lanas e Alvarez (2003) analisaram os resultados de resistências mecânicas de corpos-de-prova ensaiados após um ano de cura e verificaram que uma adequada distribuição do tamanho das partículas propiciam valores de resistências mecânicas mais elevadas nas argamassas de cal. Rato (2006) afirma que o processo de carbonatação da cal hidratada influencia no aumento da resistência mecânica e dos poros das argamassas.

A norma brasileira ABNT NBR 13279:2005 propõe a metodologia para desenvolvimento dos ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão em corpos-de-prova prismáticos de argamassa de assentamento e revestimento.

2.2.3.5 Resistência de Aderência à tração

A norma brasileira NBR 13528 (ABNT, 2010) define aderência como a propriedade do revestimento de resistir às tensões normais e tangenciais atuantes

na interface com o substrato além de avaliar a interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento (base, preparo da base e revestimento). Essa norma propõe os procedimentos de ensaio para determinação do ensaio de resistência de aderência à tração.

Segundo Araújo (2014), a aderência é uma das mais importantes propriedades na análise de desempenho de argamassas, a qual possibilita analisar a sua fixação ao substrato que foi aderida. Thurler e Ferreira (1995) definem a aderência como sendo a ligação de natureza atômica ou molecular existente na interface entre um corpo sólido e outro qualquer. Perreira (2012) afirma que esta ligação pode ser tanto física obtida pelo engaste entre o substrato e o adesivo, quanto química obtida por meio de forças eletrostáticas de Van Der Waals. Portanto, Carasek (1996) esclarece que a aderência está relacionada com as interações resultantes de fenômenos químicos ou físico-químicos.

Gonçalves (2004) e Gonçalves e Bauer (2005) informam que a resistência de aderência à tração é influenciada pela ergonomia do operário ao realizar a aplicação da argamassa à base, ou seja, variando conforme a altura de aplicação do revestimento. Outros fatores ressaltados por Kazmierczak *et al.* (2007) e Carasek (2010) são as condições de aplicação do revestimento como a temperatura e a umidade do substrato, além da temperatura do ambiente no momento da sua aplicação.

Bauer (2005), Kazmierczak *et al.* (2007), Chagas (2009) e Ruduit (2009) afirmam que um dos problemas encontrados na aplicação de revestimentos de argamassa são as características das superfícies dos substratos. Cincotto *et al.* (1995), Ioppi *et al.* (1995) e Carasek *et al.* (2001) atribuem essas características, como: porosidade, absorção de água, textura superficial, modo de aplicação à base.

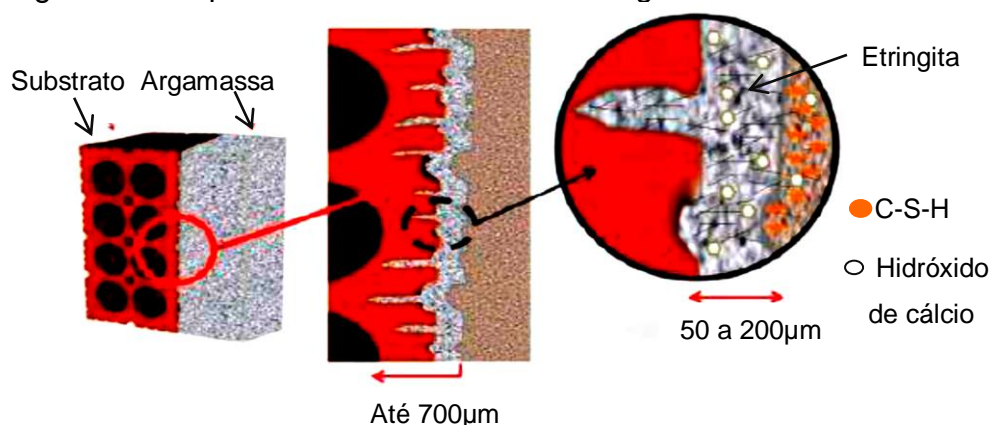
A capacidade de absorção de água, a porosidade e a rugosidade do substrato são as características que mais exercem influência na aderência (CARASEK, 1996; CANDIA E FRANCO, 1998; CORTEZ, 1999). Além dessas, Veiga (1997) ressalta as condições de limpeza do substrato. Estas características interferem na velocidade e no teor de água transportada da argamassa no estado fresco para o substrato e, por conseguinte, na alteração da microestrutura da argamassa aplicada a área de contato (CARASEK e DJANIKIAN, 1997; PAES, 2004).

Segundo Carasek (1996) e Silva (2014), a adesão da argamassa ao substrato poroso é explicada pela transferência de água que ocorre entre eles, arrastando consigo as partículas finas do cimento contidas na argamassa. Portanto, a água tem um papel relevante nas reações de hidratação do aglomerante e na resistência de aderência entre a argamassa e o substrato além de influenciar a trabalhabilidade e viscosidade da mesma.

Dessa forma, Carasek (1996), Carasek e Djanikian (1997), Carasek (2007), Silva *et al.* (2013) esclarecem que a pasta penetra nos poros do substrato e ao entrar no processo de hidratação, precipita hidróxidos e silicatos promovendo assim a ancoragem e o endurecimento do revestimento.

Carasek (1996) verificou por meio do ensaio de microscopia eletrônica de varredura que os cristais de etringita nos poros do substrato são os responsáveis pela resistência de aderência entre a argamassa e o substrato. Portanto, a Figura 2 apresenta um esquema do mecanismo de aderência entre a argamassa de revestimento e substrato poroso (tijolo cerâmico) proposto por Carasek (1996).

Figura 2 – Esquema de aderência entre a argamassa e o substrato



Fonte: Adaptado de Carasek (1996).

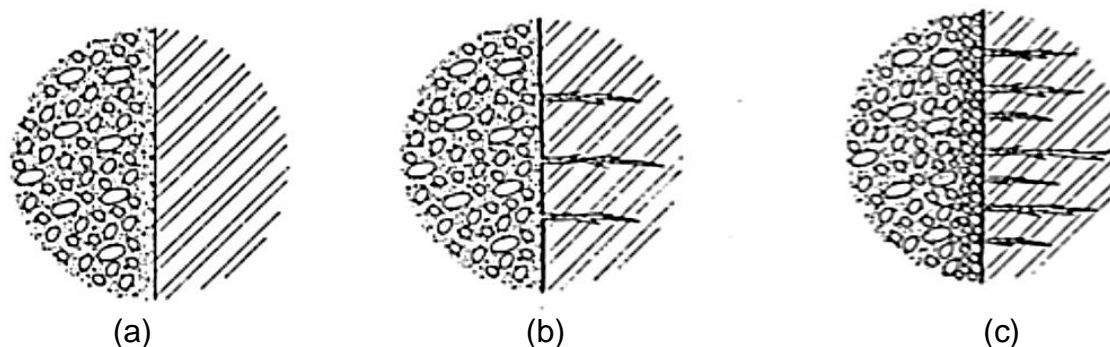
Kazmierczak *et al.* (2007) a aderência da argamassa é fortemente influenciada pela distribuição de poros do substrato, devido este ter a capacidade de absorver a água da argamassa. Carasek *et al.* (2001) e Paes (2004) afirmam que quanto maior a porosidade e a presença de cavidades do substrato, mais fácil é a penetração da pasta junto à base. Porém, Brea (2006) e Silva (2014) esclarecem que os substratos com alta porosidade tendem a absorver um maior teor de água,

reduzindo a hidratação dos constituintes da argamassa formando regiões frágeis com o potencial de apresentar descolamento. De acordo com Pereira (2012) e Silva (2014), se o substrato apresenta baixa porosidade também dificulta a aderência entre a argamassa e a base, devido apresentar pouca absorção e impedir o mecanismo de penetração da água do cimento nos poros.

Conforme Silva (2014), os substratos rugosos permitem um maior grau de ligação mecânica que os substratos lisos. Antunes (2010) explica que os substratos rugosos e com poros abertos permite um maior intertravamento do revestimento à base devido a maior superfície de contato.

Nas Figura 3-a a 3-c estão apresentadas o esquema do mecanismo de aderência entre a argamassa de revestimento e substrato proposto por Veiga (1997). O autor verificou em sua pesquisa que o substrato com coeficiente de absorção muito baixo apresenta aderência quase nula (Figura 3-a); quando o substrato obtém o coeficiente de absorção médio verifica-se uma pequena penetração da pasta nos poros e sua cristalização (Figura 3-b), mas se o substrato apresenta um coeficiente de absorção muito alto, este tende a absorver grande parte da pasta de argamassa prejudicando a sua hidratação e culminado em baixa aderência (Figura 3-c).

Figura 3 – Mecanismo de aderência mecânica de uma argamassa de revestimento



Fonte: Adaptado de Veiga (1997).

Carasek *et al.* (2001) explicam que a argamassa no estado fresco ao entrar em contato com a base perde água através da sucção e penetra nos poros do substrato. Maciel *et al.*, (1998) mencionam que a rápida perda de água interfere na aderência da argamassa ao substrato, na capacidade de absorver deformações, nas resistências mecânicas além de comprometer a durabilidade e a impermeabilização do revestimento.

Conforme Carasek (2010), a retenção de água retarda a evaporação de água para o ambiente, porém esta propriedade contribui para a perda excessiva da água para a base e para o ambiente interferindo na propriedade de aderência da argamassa. Carasek (2001) esclarece que o excesso de água em argamassas pode acarretar uma perda de adesão inicial da argamassa.

Tristão (1995) informa que o substrato pode sofrer movimentações por recalques, por variação dimensional, além da variação de umidade e de temperatura, mas apesar disso, as argamassas devem ser capazes de resisti-las. Para Silva *et al.* (2009), a capacidade de deformação das argamassas ocasionada pelas tensões influi na aderência ao substrato. Porém, se a deformabilidade da argamassa não for correspondente, a mesma poderá comprometer o desempenho do revestimento.

Para Carvalho Jr. *et al.* (2005), Cardoso *et al.* (2010) e Barbosa (2010), a falha de aderência é um dos fenômenos mais frequentes e graves entre as manifestações patológicas de revestimentos. Os autores ainda informam que a aderência da argamassa ao substrato é necessária para evitar a ocorrência de acidentes como deslocamento do revestimento e prejuízos financeiros.

Conforme Cintra *et al.* (2014) a resistência à aderência à tração influencia as manifestações patológicas quando ocorre as fissuras e as mesmas não são recuperadas e servem de caminho para o escoamento da água atingindo a interface argamassa/substrato prejudicando a aderência e contribuindo para o desprendimento desse revestimento.

Para Cincotto *et al.* (1995), a água contida na argamassa se encontra saturada de íons resultantes da dissolução de compostos de cimento sendo ela succionada para o interior dos poros do substrato contribuindo para a adesão inicial do revestimento. Para Carasek (1996), a utilização da areia fina na produção de argamassa, diminui os poros capilares e conseqüentemente a capacidade de sucção do substrato. Já quando se utiliza areia mais grossa, aumenta a quantidade de poros exercendo a sucção. No que se concerne à quantidade de água, a argamassa de areia mais fina exige mais água do que a aquela com areia mais grossa, em torno de 26% a mais.

Carasek *et al.* (2001) e Bauer e Sousa (2005) afirmam que a finura dos grãos do cimento influenciam na resistência de aderência de um revestimento. Carasek *et al.* (2001) informam que a cal contribui com a plasticidade e a retenção

da água, espalhando facilmente a superfície do substrato tornando o sistema argamassa/substrato mais durável, evitando fissuras e preenchendo os vazios por meio da carbonatação. Os autores ainda revelam que a capacidade de aderência depende também do teor de areia utilizado e suas características, portanto, quanto maior for o consumo de agregado miúdo, menor será a aderência da argamassa. Para Carneiro e Cincotto (1999), a areia não participa das reações químicas do endurecimento da argamassa, porém o formato dos grãos influencia nas propriedades do estado fresco como a trabalhabilidade e a retenção de água e no estado endurecido, as resistências mecânicas, a capacidade de deformação e a permeabilidade.

A boa aderência de uma argamassa de revestimento à base é de suma importância para o cumprimento da função de impermeabilização do revestimento e sua durabilidade. Contudo, a aderência depende de propriedades da argamassa no estado fresco assim como das condições da base para aplicação. Cincotto *et al.* (1995) ressaltam também outras propriedades como a resistência mecânica, a capacidade de retenção de água, a consistência e o teor de ar aprisionado.

A norma da ABNT NBR 13749:2014 determina que os revestimentos de argamassas para locais internos tenham uma resistência de aderência mínima de 0,20 MPa para paredes interna e tetos. Já para locais externos devem apresentar a resistência de aderência mínima de 0,30 MPa na idade de 28 dias.

2.2.3.6 Durabilidade

Veiga (1997) assegura que a durabilidade de um revestimento pode ser prejudicada por diversos fatores como a penetração de água por capilaridade, as perdas de aderência, a fragmentação originada pela secagem prematura, o ataque de sais, principalmente sulfatos existentes nos materiais que constituem as alvenarias, no ar ou na água e proliferação de micro-organismos.

Pagnussat *et al.* (2003) e Consoli (2006) informam que tais características influenciam na vida útil, na durabilidade e na estética dos revestimentos de argamassa, visto que o aparecimento de manifestações patológicas precoces em revestimentos tende a depreciar o valor do bem ou de antecipar a sua manutenção. Portanto, Silva (2014) afirma que sempre que o reboco deixa de cumprir o seu desempenho, considera-se que ele alcançou a sua vida útil.

2.2.3.7 Fissuras

Morales (2015) afirma que as manifestações patológicas apresentadas nas argamassas de revestimento podem ser vistas em um curto período. As argamassas, no estado fresco, devem ser de moldagem fácil para minimizar a ocorrência de manifestações patológicas nos revestimentos após o endurecimento, tais como: fissuras, descolamento e manchas (CARDOSO *et al.* 2005).

Silva *et al.* (2009) a fissuração ocorre devido a argamassa ser submetida as tensões que está ligada a retração. Dessa forma, a argamassa tem a sua deformação limitada devido à sua aderência ao substrato, o que compromete o desempenho do sistema em que ela faz parte.

Veiga (2004) e Silva (2014) mencionam que é necessário haver um tempo de espera para a aplicação de cada camada, de forma a proporcionar uma correta secagem e uma retração relativamente independente em cada uma. As Figura 4-a e 4-b representam as fissuras encontradas em argamassas de revestimento de camada única e de duas camadas, respectivamente.

Figura 4 – Argamassa de revestimento em 1 camada e em 2 camadas



Fonte: Adaptado de Veiga (2004).

Na Figura 4-b pode ser visto que as fissuras são menos visíveis e a impermeabilização menos afetada, já que os caminhos de infiltração foram interrompidos pela outra camada.

A norma ABNT NBR 13749:2013 especifica as principais fissuras que podem ser encontradas em argamassas de revestimento, tais como:

- Fissuras mapeadas: ocorrem por retração da argamassa, seja por excesso de finos no traço ou presentes nos agregados, seja por causa do aglomerante ou por causa do desempenho. Apresenta o desenho em forma de mapa;
- Fissuras geométricas: podem ser decorrentes de retração higrométrica, interfaces de base constituídas de materiais diferentes, e em revestimentos que apresentam juntas de dilatação;
- Vesículas: são causadas pela hidratação retardada do óxido de cálcio da cal e pela presença de concreções ferruginosas na areia;
- Empolas pequenas: formadas pela impureza da oxidação da pirita presente no agregado resultando em gipsita, além de expansão;
- Expansão e deslocamento do revestimento: são provocadas pelo rápido endurecimento do gesso após a sua aplicação sobre as fissuras. A hidratação do gesso forma a gipsita que ao reagir com o cimento contido na argamassa forma etringita ocasionando a expansão e
- Pulverulência: é causada pelo excesso de finos no agregado, seja pelo traço pobre em aglomerante, seja pela carbonatação insuficiente da cal que sofre a interferência do clima seco, da temperatura e da ação do vento dificultando o processo de carbonatação.

Angelim *et al.* (2003) informam que a distribuição granulométrica do agregado miúdo exerce influencia na fissuração, na rugosidade, na permeabilidade e na resistência de aderência. De acordo com Cavaco (2003) o desempenho da argamassa está relacionado com a distribuição granulométrica e a forma dos agregados, pois essas condicionam a quantidade e dimensão dos espaços vazios da mesma. O autor esclarece que a redução do índice de vazios está relacionada com a redução da quantidade de ligante e de água requeridos na argamassa trazendo benefícios como a diminuição da sua retração.

Silva (2014) menciona que apesar dos agregados não interferirem na reação de endurecimento da argamassa, é de suma importância a sua escolha e suas características como dimensão, forma das partículas e massa específica. A autora ainda afirma que os agregados influenciam na qualidade da argamassa e interferem na redução da propriedade de retração, além de tornar o material mais econômico.

Pandolfo *et al.* (2005), Tristão *et al.* (2005), Sampaio e Bastos (2009) investigaram a influência de diversos tipos de areia proveniente de britagem de rochas e constataram que o excesso de finos prejudica a trabalhabilidade da argamassa e promove o aparecimento de fissuras durante a sua secagem.

Para Mattana (2013), a utilização da cal em argamassa contribui para sua durabilidade possibilitando certas deformações e evitando o aparecimento de fissuras. Porém, Araújo (2014) revela que a utilização da cal sem as orientações da norma provoca depois de meses ou até anos, o aparecimento de manchas, trincas, fissuras e descolamento do revestimento devido à falta do poder aglomerante.

Carasek (2007) informa que um traço muito rico em cimento pode levar a uma alta rigidez, retração, fissuração e descolamento do revestimento; ou por outro lado, um traço pobre e cimento encadeia a desagregação do revestimento. Quanto maior a quantidade de cimento presente na mistura, maior é a retração e maior será a aderência à base (ABCP, 2003). Silva (2014) esclarece que é necessário controlar a quantidade de cimento para a produção de argamassa de revestimento, pois a sua quantidade de forma exagerada pode levar a fissuração devido retração do cimento durante a secagem. Já se for uma quantidade insuficiente de cimento pode levar a um aumento de porosidade que enfraquece a argamassa.

Silva e Campiteli (2006) constataram que a diminuição do teor de cimento nas argamassas contribue para a diminuição de fissuras nos revestimentos argamassados com a incorporação de areia de britagem, assim como nas resistências mecânicas e no módulo de elasticidade.

Para Veiga (1998) e Angelim *et al.* (2003), a incorporação de finos pode aumentar a suscetibilidade da argamassa à fissuração por retração. Porém, Braga *et al.* (2012) e Silva *et al.* (2009) constataram que a incorporação de finos contribuíam em melhorias significativas nos resultados de resistência à tração por flexão e na resistência à compressão e no aumento da aderência ao substrato. Angelim *et al.* (2003), Silva e Campiteli (2006) utilizaram a incorporação de filler calcário e verificaram aumentos consideráveis nos resultados de resistências mecânicas.

Miranda e Selmo (2001) fabricaram argamassas de revestimento mistas com três traços distintos, que foram: 1:1,1:7,9; 1:1,3:7,7 e 1:1,4:7,6 utilizando as proporções de finos menores que 0,075 mm de 18%, 25% e 32%. Os autores analisaram que o teor de 32% de finos influencia no aparecimento de fissuras,

independente do tipo de entulho utilizado, e que estas estão relacionadas com a composição granulométrica dos agregados e com a relação água/cimento.

Miranda e Selmo (2006) produziram as argamassas mistas com agregados com granulometria mais grossa, baixa relação água/cimento e finos no valor total de 25% e verificaram que essas características são o limite para o início de fissuras por secagem da argamassa e para uma boa trabalhabilidade. As pesquisas mencionadas que estudaram a incorporação de finos em argamassas, de qualquer natureza, constataram maiores retrações nas argamassas modificadas do que nas argamassas de referência.

2.3 Materiais não convencionais

A importância das questões ambientais e a preocupação com o uso dos recursos naturais têm estimulado pesquisadores em vários lugares do mundo a realizarem estudos em materiais alternativos para a produção de concretos e argamassas. Alguns estudos têm sido realizados com a incorporação de materiais não convencionais provindos da construção ou demolição, tais como: cerâmicas, concretos, vidros, gessos, areia de britagem, pó de pedra, tijolos e outros, em argamassas e em concretos, substituindo total ou parcialmente a areia natural. Há histórico do uso de outros materiais recicláveis como embalagens PET, plásticos, louças sanitárias, borrachas, pneus, casca de arroz, dentre outros.

Coelho e Brito (2011) e Pedro *et al.* (2013) afirmam que o interesse na utilização desses materiais tem aumentado significativamente com a crescente conscientização da importância dos problemas ambientais e da busca de novas soluções que combinem crescimento econômico e preservação do patrimônio natural. Para Santos *et al.* (2012), Silva (2014) e Penacho *et al.* (2014), a incorporação de outros materiais, em particular os resíduos de construção e demolição, não somente é benéfica para o meio ambiente contribuindo para a diminuição de aterros e a redução do uso de recursos naturais e energéticos, mas também pode levar melhorias em determinadas propriedades.

Os pesquisadores Almeida e Sampaio (2002), Bastos (2002), Almeida e Pereira (2004), Almeida e Silva (2005), Andriolo (2005), Chaves (2005), Pandolfo e Masuero (2005), Silva *et al.* (2005), Buest Neto (2006), Lodi e Prudêncio Jr. (2006), Lodi (2006), Silva (2006), Busanello *et al.* (2007), Cabral (2007), Gonçalves (2005),

Gonçalves *et al.* (2007), Silva *et al.* (2007), Barbosa *et al.* (2008), Klein *et al.* (2008), Silva e Campiteli (2008), Ahmed and Yusuf (2009), Sampaio e Bastos (2009), Freitas (2010), Guacelli (2010), Mahzuz *et al.* (2011), Nagabhushana and Bai (2011), Haque *et al.* (2012), Lohani *et al.* (2012), Duarte (2013), Hoque *et al.* (2013), Rosa (2013), Alvino *et al.* (2014), Costa (2015), Cechin *et al.* (2016) entre outros tem desenvolvido uma série de estudos que visam a avaliar o uso de areia de britagem em concretos e argamassas, em substituição total ou parcial da areia natural por areia britada e identificar as características física e química dos agregados de forma a viabilizar a sua utilização. Os resultados obtidos pelos autores referidos acima demonstraram que a areia de britagem melhora as características do produto final.

2.3.1 Areia de britagem

Segundo Drago *et al.* (2009), a areia de britagem também é conhecida como agregado miúdo de pedra britada, pó-de-pedra, areia artificial ou areia industrial. A norma brasileira ABNT NBR 9935:2011 define areia de britagem como um material pétreo proveniente de processos de cominuição mecânica de rochas britadas com granulometria entre 4,75 mm e 150 µm. A areia pode ser submetida ou não a processos de classificação para a retirada das partículas de dimensões inferiores a 75 µm.

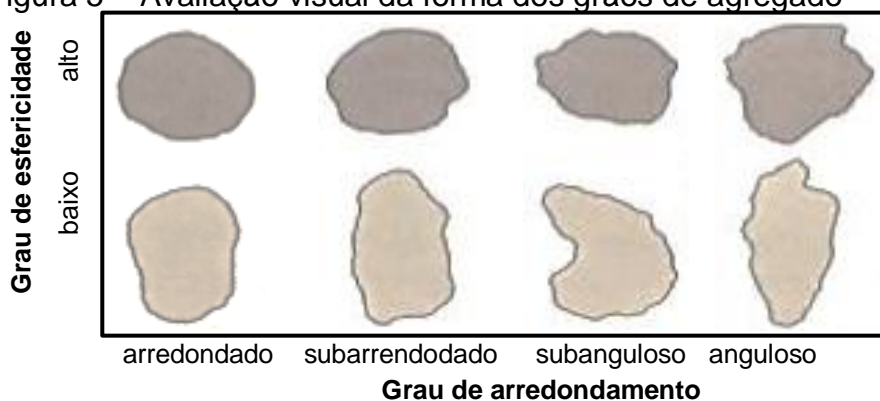
Conforme Viero (2010), as rochas utilizadas para a produção de areia artificial são os granitos, gnaisses, calcários, dolomitos e basaltos. Suguio (1973) informa que a distribuição granulométrica de um agregado depende da rocha fonte. O autor ainda revela que a forma dos agregados britados depende da petrografia da rocha, do tipo e das características do britador. Russo (2011) informa que a areia artificial é extraída de blocos por meio de processos de fragmentação. Chaves (2005) esclarece que o processo de britagem é realizado por método de cominuição primário, secundário, terciário ou quarternário. O tamanho da rocha a ser britada e a qualidade desejada do produto final define o número de etapas de britagem. Dessa forma, o controle da granulometria e a forma da brita ficam mais definidos a partir da etapa secundária.

Segundo Chaves (2005), a britagem de rochas para a produção de agregado graúdo para a construção civil gera quantidades significativas de grãos com dimensão abaixo de 11 mm, sendo que esse material é britado novamente para

ser utilizado como areia. De acordo com Almeida (2004), o processo de produção de areia de britagem produz uma elevada proporção de partículas menores que 75 µm (geralmente entre 10% e 25%).

A norma brasileira ABNT NBR 7389-1:2009 classifica os grãos de agregado quanto ao grau de arredondamento como arredondado, subarredondado, subanguloso e anguloso. Essa norma também especifica a classificação dos grãos quanto à esfericidade, como alta e baixa e ainda apresenta as imagens de grãos para definição dessas classificações baseado em Power (1953). O esquema ilustrativo de avaliação visual está apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Avaliação visual da forma dos grãos de agregado



Fonte: Adaptado da norma ABNT NBR 7389-1 (2009).

Almeida e Sampaio (2002) realizaram estudos comparativos em areia artificial e natural e verificaram no ensaio de microscopia eletrônica que os grãos de pó de pedra apresentam menor índice de arredondamento sendo mais evidentes nas frações finas. Segundo Suguio (1973), a forma arredondada dos grãos é avaliada pela presença de arestas vivas nas partículas.

Klein (2008), Rosa (2013) e Cechin *et al.* (2016) afirmam que as partículas das areias de britagem, em comparação com a areia natural, são geralmente mais angulosas e podem apresentar-se na forma cúbica ou até mesmo lamelar, dependendo da rocha de origem e do equipamento de britagem. Tristão (2005) explica que os grãos angulosos apresentam cantos mais agudos e reentrâncias menores e maiores.

Silva e Campiteli (2005) esclarecem que os grãos britados de rocha são mais angulosos, portanto menos esféricos, influenciando negativamente na trabalhabilidade da argamassa, tornando necessária a adequação desse material

para que possa ser utilizado. Esse fato foi comprovado por Supekar e Kumbhar (2012) em concretos. Bastos (2002) e Lodi e Prudêncio Jr. (2006) afirmam que a areia artificial de origem basáltica é constituída de partículas angulosas, com textura mais áspera e com grande quantidade de material pulverulento, o que favorece a obtenção de concretos menos trabalháveis, e exigem uma maior demanda de água.

Farias e Palmeiras (2005) informam que os microfinos são materiais cujos grãos passam na peneira de abertura 0,075 mm. Para Bauer e Gonçalves (2010), a resistência de aderência é a propriedade mais prejudicada com o excesso de microfinos em argamassas. Os autores explicam que as argamassas com grande quantidade de microfinos tendem a fechar os poros do substrato, impedindo a adequada ancoragem e a propiciar o deslocamento da argamassa de revestimento.

Para Cechin *et al.* (2016) o maior número de finos presentes na areia artificial influencia em duas propriedades do concreto e das argamassas: a trabalhabilidade e a resistência à compressão. Cabral (2007) e Cechin *et al.* (2016) constatou que os finos demandam um maior consumo de água de amassamento, visto que, quanto maior a quantidade de areia artificial na mistura, sem alterar a relação água/cimento, menor a trabalhabilidade. Gonçalves *et al.* (2007) produziram argamassas com areia de britagem, com areia normal do IPT e areia natural. Os resultados apontaram que as argamassas com areia de britagem possuíam menores valores de resistência à compressão, independente da relação a/c e promoveu um aumento na porosidade total e na absorvidade das misturas.

Rosa (2013) também explica que a pasta, composta de elevado teor de microfinos e de água, tende a entrar nos poros da superfície do substrato de forma a obstruí-los contribuindo para diminuir a resistência de aderência do revestimento. Portanto, Tonso (1994) informa que é necessário um processamento adequado dos finos na geração da areia artificial para uso na construção civil, além das características adequadas dos grãos como tamanho e forma.

Rato (2006) defende que a forma das partículas de areia influencia a quantidade de água de amassadura. Segundo Rosa (2013), o consumo de água de amassamento elevado nas argamassas é causado pelo excesso de microfinos. Silva e Campiteli (2006) explicam esse alto consumo é devido ao aumento da superfície específica da areia, à medida que insere mais grãos. Além disso, Silva (2006) ressalta esse aumento de consumo de água devido à necessidade de movimentação e a interação entre os grãos de diâmetros menores.

Antunes (2006) informa que o comportamento das argamassas durante o estado fresco e nas propriedades do estado endurecido pode ser afetado pelas variações da granulometria da partícula, proporção finos/agregados, teor de água, dentre outros fatores. Niebel e Campiteli (2009) explica que a adição de finos altera drasticamente as características reológicas das argamassas sendo necessários estudos sobre o percentual ideal de uso de finos para a confecção de argamassas de revestimento.

Ahn (2000) relata que estudos realizados na Universidade do Texas, nos Estados Unidos, demonstraram a viabilidade de se produzir argamassas e concretos de alta resistência com a utilização de areia de britagem, sem que fosse necessária a remoção dos finos. Segundo Almeida *et al.* (2005), os finos são capazes de preencher os vazios deixados entre as partículas grossas da areia, o que confere ao produto maior resistência mecânica, sem a necessidade do aumento significativo do consumo de água.

Para Neville (1997) e Grigoli (2000), o teor de material pulverulento não é uma desvantagem para a confecção de argamassas ou concreto, desde que seja controlado a sua quantidade na amostra total do agregado. Grigoli (2000) afirma que o material fino melhora a trabalhabilidade, diminui a porosidade e aumenta a durabilidade. Segundo Cabral (2007), a areia de britagem é dotada de um grande teor de finos, porém deve limitar o seu teor para que possa promover uma maior trabalhabilidade ao preencher os vazios da pasta de cimento e água.

Sampaio e Bastos (2009) informam que o acréscimo de material fino nos agregados não acarreta necessariamente em um aumento de volume, pois os espaços vazios entre os grãos maiores são preenchidos pelos grãos menores, promovendo o aumento da compactação, da massa específica da argamassa e o intertravamento entre as partículas. Porém, para um mesmo índice de consistência e para corrigir a trabalhabilidade da argamassa é necessário um aumento na relação água/cimento ou o uso de aditivos incorporadores de ar.

Silva (2005) informa que a principal limitação da utilização da areia de britagem é a forma dos grãos, pois elas geralmente possuem grãos angulosos e com baixo grau de arredondamento. A minimização da angulosidade dos grãos de areias de britagem, tornando-os mais arredondados aproximando-os dos grãos de areias naturais, reduz o impacto a trabalhabilidade dessas misturas (GUACELLI, 2010).

Chaves (2005) afirma que é necessário compreender a morfologia dos grãos de areia de modo a quantificar os formatos dos grãos, pois existem areias com a mesma distribuição granulométrica, porém podem apresentar volume de vazios diferentes em decorrência da forma dos grãos.

Westerholm *et al.* (2008) e Freitas e Costa (2010) verificaram em seus trabalhos que a distribuição granulométrica (os teores de frações fina e graúda das areias), o teor de ar incorporado (o empacotamento dos grãos) e a morfologia das areias de britagem se mostraram influentes no comportamento reológico das argamassas. Para Carneiro (2009), a composição granulométrica da areia exerce influencia diretamente na retenção de água, no consumo de água e aglomerantes no estado fresco, assim como, no estado endurecido, tendência à fissuração, textura superficial, permeabilidade e resistência de aderência.

Lodi e Prudêncio Jr. (2006), Freitas (2007) e Arnold e Kazmierczak (2009), a morfologia das partículas de areia britada vem sendo modificada nos últimos anos, em função da aquisição de equipamentos de britagem mais eficientes, tais como os britadores do tipo (Vertical Shaft Impact), que permitem a fabricação de grãos mais esféricos. Para Neto (1999), a substituição de areia natural pela artificial seja viabilizada com qualidade do produto, é necessário atender aos seguintes requisitos tecnológicos, tais como:

- adequação da distribuição granulométrica;
- forma e textura superficial das partículas;
- resistência mecânica e estabilidade das partículas e
- ausência de impurezas.

Ribeiro (2010) e Duarte (2013) afirmam que a areia de britagem se encontra praticamente isenta de impurezas de natureza orgânica e argilosa bem como dos possíveis problemas originados pelas mesmas. Embora a areia de britagem apresente fatores negativos, diversos autores recomendam a utilização desse material. Do ponto de vista ecológico, o uso da areia de britagem traz benefícios ao meio ambiente, pois os resíduos gerados na britagem de rochas são pouco utilizados constituindo um problema devido à dispersão desses pelos ventos e pelas águas (KLEIN, 2008).

Guacelli (2010) informa que nos países mais desenvolvidos há mais de 30 anos são utilizados os agregados miúdos provenientes da britagem de rochas, destacando-se como uma das alternativas mais viáveis e promissoras para a

substituição da areia extraída dos leitos dos rios. Almeida (2005) descreve que as vantagens da substituição de areia natural por areia de britagem são várias, tais:

- redução do impacto ambiental decorrente da extração da areia de leito de rio ou areia de cava;
- as jazidas de areia de britagem são fartas no Brasil, ao contrário da areia de extração que é um recurso natural que está se tornando a cada dia mais escasso;
- maior proximidade entre produção e centro consumidor;
- isentos de impurezas e
- baixo teor de umidade.

2.4 Argamassas de revestimentos com a utilização de areia de britagem

A indústria da construção ainda continua a ser um dos setores industriais que promove impacto negativo extremamente significativo, porque tem um consumo elevado de recursos naturais e energéticos e uma geração elevada de resíduos. Assim, devido à preocupação com a utilização dos recursos naturais e a necessidade de encontrar soluções que possibilitem a redução dos impactos ambientais, têm-se fomentado trabalhos de pesquisa em diversos países que permitam um aprofundamento do conhecimento técnico na temática da utilização de agregados miúdos oriundos de britagem de rochas, com o objetivo de promover a aplicação deste material na área da construção devido a sua grande disponibilidade, mas principalmente, visando à diminuição do uso da areia natural.

Várias pesquisas foram desenvolvidas com a utilização parcial ou total de areia de britagem e foi constatada uma redução no consumo de água, um aumento na resistência à tração na flexão, à compressão e no aparecimento de fissuras. Esses fatores são causados por duas características singulares da areia britada que são: o elevado teor de material pulverulento e a forma das partículas que são mais angulosas do que a areia natural. Westerholm *et al.* (2008) estudaram a reologia das argamassas e concretos com 13 diferentes tipos de areia de britagem de rocha granítica e uma areia natural. Os autores constataram que a reologia das argamassas é dependente da morfologia do grão e do material pulverulento presente na areia britada.

A interferência do material pulverulento presente na areia britada incorporado as argamassas de revestimento em comparativo com as argamassas com areia natural foi verificada por diversos autores, tais como:

- Pandolfo e Masuero (2005), Tristão (2005), Carneiro (2009) e Rosa (2013) constataram a necessidade de maior consumo de água, para manter o mesmo índice de consistência;
- Tristão (2005), Arnold (2011) e Acele (2012) verificaram um maior potencial de fissuração, de retrações, de retenção de água e de massa específica;
- Arnold e Kazmiercak (2009) apontam um aumento da resistência à compressão, da densidade de massa no estado fresco e do módulo de elasticidade dinâmico e a diminuição do teor de ar incorporado;
- Pandolfo e Masuero (2005) constataram baixos valores de resistência de aderência e de absorção capilar e maiores valores de massa específica, de resistência à compressão e de retenção de água;

Para Arnold (2011), quanto maior o teor de microfinos em argamassas com areia britada menor será a absorção de água, coeficiente de capilaridade e índice de vazios e maior será a massa específica no estado endurecido.

Cuchierato (2000) e Silva *et al.* (2005) informam que o elevado teor de microfinos em argamassas tendem a fissurar por retração, porém sem os microfinos elas perdem a trabalhabilidade. Sabbatini (1986) e Bolorino e Alba (1997), o excesso de retração em argamassas ao longo da sua cura influencia diretamente na sua durabilidade e na estanqueidade o que causa grande quantidade de fissuração. Os autores ainda mencionam que é necessário avaliar esse fenômeno, principalmente quando se é utilizado para empregar em revestimento.

Alves (2005) e Rosa (2013) afirmam que para reduzir o aparecimento de fissuras e retração em argamassas com areia britada, tem se adotado o uso de aditivos incorporadores de ar em vez de aumentar a quantidade de água, pois esses produtos beneficiam outras propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. Os autores explicam que a água utilizada deve ser o suficiente para a molhagem dos grãos, pois a trabalhabilidade da argamassa é condicionada por conta do aditivo.

Ishikawa (2009) realizou estudos em argamassas de revestimento com areia de britagem cujo traço 1:1:6 apresentaram menos fissuras do que as

argamassas com traço 1:2:6. O autor constatou que a proporção de areia de britagem e a sua granulometria são parâmetros de grande importância devido ao peso que podem representar na durabilidade e no desempenho das argamassas.

Rosa (2013) estudou o efeito do teor de microfinos 1,5%, 6%, 10%, 20% e 30% nas propriedades das argamassas com areia de britagem basáltica e natural com o mesmo traço 1:1:6. Considerando o conjunto dos resultados, o acréscimo de microfinos resultou em menores valores de teor de água de amassamento, de absorção de água e de índice de vazios e maiores valores de resistências à compressão, de aderência e de ar incorporado. Entretanto, foi constatado menor módulo de elasticidade, maiores valores de densidade de massa e de retração, conseqüentemente, o aparecimento de fissuras. O autor verificou que os microfinos, a forma e a textura das partículas influenciam nas propriedades das argamassas. Dessa forma, estima-se um maior potencial de viabilidade para a argamassa de britagem com 10% de microfinos.

Silva e Campiteli (2006), Silva e Campiteli (2008) realizaram estudos comparativos em argamassas de revestimento com areia natural e areia britada produzidas com nove traços diferentes. Os resultados mostraram que as argamassas fabricadas com areia de britagem apresentaram maiores módulos de elasticidade e maior número de fissuras em relação aquelas com areia natural. Porém, apresentaram maiores valores de resistência de aderência à tração.

Silva (2006) realizou estudo de argamassas de revestimento utilizando cimento, cal e areia britada de rocha calcária proveniente de pedreira do município de Rio Branco do Sul-PR, Região Metropolitana de Curitiba-PR. Foram produzidas 22 misturas, em 11 traços de argamassas. Os resultados mostraram que as argamassas produzidas com areia de britagem possuem maior trabalhabilidade com o menor consumo de água, maiores resistências mecânicas e na maioria dos traços, menor permeabilidade à água devido à diminuição dos poros capilares do revestimento e menor teor de ar incorporado. De acordo este autor, as argamassas com areia britada são mais suscetíveis à fissuração devido aos fatores como a proporção dos materiais, teor, tipo e qualidade dos aglomerantes, quantidade de água, percentual de material pulverulento, forma das partículas e procedimentos de execução dos revestimentos.

Arnold e Kazmierczak (2009) realizaram estudos sobre a influência da distribuição granulométrica do agregado miúdo e do teor de fíler nas propriedades

de argamassas de revestimento com areia de britagem da localidade de Quatro Colônias, no município de Campo Bom, no Estado do Rio Grande do Sul. Foram produzidas 6 misturas para um mesmo traço de argamassa, 1:1:6 em volume. Ainda, conforme os autores, quanto maior o módulo de finura do agregado, maior a resistência à compressão, a densidade de massa aparente no estado fresco e o módulo de elasticidade dinâmico da argamassa e menor o percentual de ar incorporado e o coeficiente de capilaridade. Já o teor de fíler quando aumenta, eleva o valor de todas as propriedades das argamassas, exceto o teor de ar incorporado que diminuí.

Silva *et al.* (2009) constataram que a maior parte das argamassas de revestimento confeccionadas com areia britada obtiveram maior retenção de água, maiores resistências de aderências e de compressão do que as fabricadas com areia natural. Freitas e Costa (2010) apontam que as argamassas confeccionadas com areia de britagem apresentam baixos teores de ar incorporado e maiores valores de densidade de massa no estado endurecido, de resistências à compressão e à tração na flexão, possivelmente devido ao maior teor fração fina, a presença de vazios e ao menor consumo de água.

Freitas (2010) desenvolveu sua pesquisa em argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem de quatro pedreiras da Região Metropolitana de Curitiba, no Estado do Paraná, sendo uma proveniente de rocha de origem migmatito e três de rocha de origem calcário calcítico e dolomítico. Foram produzidas 5 misturas para um mesmo traço de argamassa, 1:2:9. Este autor concluiu que as propriedades das argamassas com areia de britagem possuem melhor trabalhabilidade e maiores resistências mecânicas e na maioria apresentou menor permeabilidade à água que as argamassas produzidas com areia natural. O teor de material pulverulento influenciou nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido.

Guacelli (2010) desenvolveu um estudo em argamassas de revestimento com a substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas provenientes da pedreira do município de Londrina e do município de Guaravera, ambas no Estado do Paraná. Foram produzidas quatro misturas para um mesmo traço de argamassa, 1:1:6. Para o autor, é viável o uso de 50% de areia de britagem, porém são necessários estudos para melhorar a granulometria e a forma das

partículas da areia de britagem, para viabilizar a sua utilização sem a necessidade da areia natural.

Nunes Júnior *et al.* (2013) desenvolveu uma pesquisa sobre o efeito do pó de pedra proveniente da Região de Criciúma, no Estado de Santa Catarina, em argamassa de assentamento para blocos de alvenaria estrutural. Foram produzidas três misturas para um mesmo traço de argamassa, 1:0,5:8,5 em massa. Os autores mostraram o uso da areia de britagem como uma alternativa viável, com vantagens técnicas, tais como o aumento da resistência à compressão das argamassas e dos prismas de blocos estruturais e do módulo de elasticidade que apresentou consideravelmente maiores valores para a argamassa com substituição de 50% de pó de pedra em comparação a argamassa industrializada.

Hoque *et al.* (2013) investigaram a interferência do pó de pedra em 6 misturas de argamassas com substituição parcial da areia natural em 0%, 25% e 50% e substituição parcial de 5% do cimento. Esse estudo revelou que a resistência da argamassa com a incorporação de 25% de pó de pedra era maior do que na argamassa com 100% de areia natural. Porém, todas as argamassas que tiveram o pó de pedra como substituição parcial no cimento, apresentaram menores resistências. Portanto, os autores concluíram que o pó de pedra é uma alternativa viável para substituir apenas os agregados miúdos.

Mahzuz *et al.* (2011) realizaram experiências do pó de pedra proveniente da região de Jaflong, destino turístico na Divisa de Sylhet, Bangladesh, em concreto e argamassas. Os autores revelaram que o concreto e as argamassas que continham o pó de pedra obtiveram valores maiores de resistência à compressão em relação aos produtos que continham apenas areia natural.

Nagabushana and Bai (2011) fizeram estudos em argamassas com pó de pedra substituindo a areia natural em 20%, 40%, 60%, 80% e 100% com diferentes traços 1:4, 1:5, 1:6 e 1:8. Os resultados mostraram que todas as argamassas com 40% de pó de pedra obtiveram maiores valores de resistência à compressão.

Cechin *et al.* (2016) estudaram argamassas de revestimento com os teores de substituição de areia natural por areia artificial de 25%, 50%, 75% e 100% e obtiveram resultados maiores em resistência à compressão à medida que se eleva a quantidade de areia artificial na argamassa, porém a quantidade de finos

prejudicou a trabalhabilidade quando foi mantida a mesma relação água/cimento para todas as misturas.

Observa-se que o desempenho das argamassas com a incorporação de areia de britagem é influenciada pelas características própria dos seus grãos e que os resultados encontrados nas pesquisas já realizadas apresentam divergências. Contudo, as pesquisas mostraram que a substituição de agregados naturais por areia de britagem pode ser benéfica para algumas propriedades das argamassas. Porém, devido aos efeitos negativos encontrados em outras propriedades, é necessário determinar um limite máximo quanto à taxa de substituição.

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Introdução

No presente capítulo são descritos detalhadamente todos os materiais constituintes para a fabricação das argamassas de revestimento avaliadas bem como todos os ensaios realizados neste estudo experimental, com base nas referências normativas brasileiras.

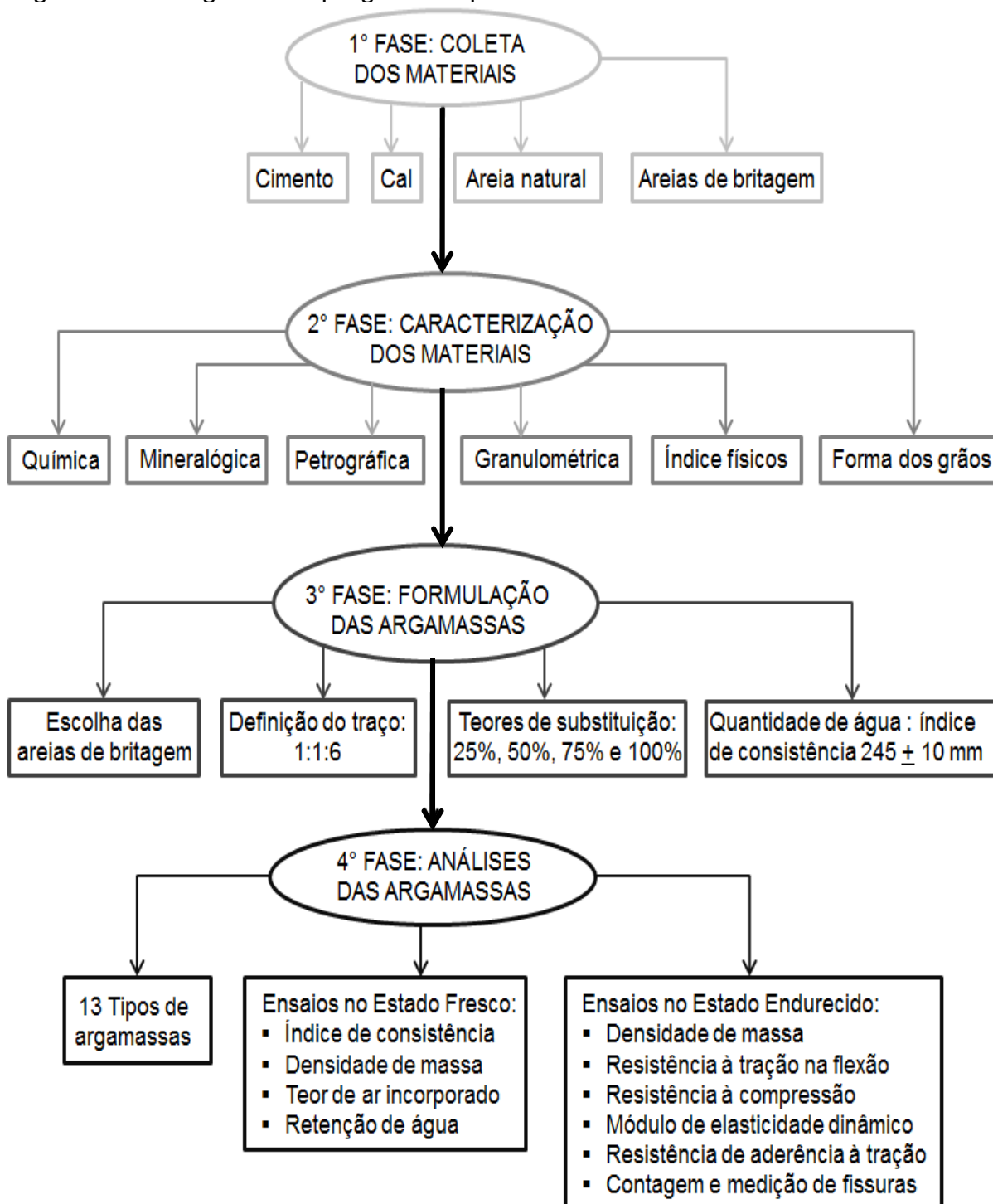
Conforme mencionado no capítulo de introdução desta dissertação, o DNPM patrocinou a realização desta pesquisa assim como a de Costa (2015) com a caracterização das areias de britagem produzidas pelas pedreiras da RMF e sua utilização em concretos e argamassas. Os dados de caracterizações das areias britadas foram realizados por Costa (2015) e foram utilizados neste trabalho.

O programa experimental foi desenvolvido por meio da organização de um fluxograma que foi dividido em quatro fases:

- a primeira consistiu na coleta dos materiais constituintes das argamassas: o cimento, a cal, a areia natural e oito tipos de areias de britagem, esta última realizada por Costa (2015);
- a segunda foi à fase de caracterização desses materiais e a construção da parede para a aplicação dos revestimentos de argamassas. Costa (2015) realizou o ensaio de caracterização petrográfica e dimensão máxima característica (DMC) nas oito tipos de areias de britagem e com base nos resultados encontrados dividiu-as em três grupos de mesma semelhança;
- a terceira consistiu na seleção de uma areia de britagem de cada grupo, na definição do traço de argamassa a ser utilizado e nos teores de substituição da areia natural por areia de britagem identificando-se a relação água/cimento que atingisse o índice de consistência desejado;
- a quarta fase, foi a produção de treze tipos de argamassas de revestimento, a moldagem de corpos de prova e a aplicação de revestimentos de argamassas na alvenaria, de modo a realizar ensaios para avaliações do comportamento destas no estado fresco e endurecido.

A Figura 6 apresenta o fluxograma do programa experimental.

Figura 6 – Fluxograma do programa experimental.



Fonte: Elaborada pela autora.

Todo o programa experimental foi desenvolvido no Campus do Pici da UFC, mais exatamente no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC). Os ensaios de resistência à tração na flexão e de compressão dos corpos-de-prova de argamassa foram realizados no Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC).

3.2 Materiais constituintes das argamassas

3.2.1 Cimento Portland

O cimento escolhido para a realização do experimento foi o CP II Z 32 por ser um cimento bastante utilizado na RMF na produção de argamassas. A Tabela 7 apresenta os parâmetros químicos, físicos e mecânicos do cimento, os quais foram fornecidos pelo fabricante.

Tabela 7 – Os parâmetros químicos, físicos e mecânicos do cimento CP II Z 32 utilizado

| Parâmetros Químicos | | |
|--------------------------------------|----------|-----------------------|
| Ensaio | Teores % | Limites máx. da Norma |
| Perda ao Fogo – PF | 5,8 | 6,5 |
| Óxido de Magnésio – MgO | 2,6 | 6,5 |
| Anidrido Sulfúrico - SO ₃ | 3,37 | 4,0 |
| Resíduo Insolúvel – RI | 12,84 | 16,0 |

| Parâmetros Físicos e Mecânicos | | |
|-----------------------------------|------------|------------------|
| Ensaio | Resultados | Limites da Norma |
| Finura (%) #200 | 1,42 | ≤ 12,0 |
| Finura (%) #325 | 7,82 | não aplicável |
| Blaine (cm ² /g) | 4912 | ≥ 2600 |
| Água de pasta de consistência (%) | 28,98 | não aplicável |
| Início de pega (min) | 166 | ≥ 60 |
| Fim de pega (min) | 226 | ≤ 600 |
| Expansibilidade a quente (mm) | 0,23 | ≤ 5,0 |
| Resistência à compressão (Mpa) | 3 dias | ≥ 10,0 |
| | 7 dias | ≥ 20,0 |
| | 28 dias | ≥ 32,0; ≤ 49,0 |

Fonte: Votorantim Cimentos (2015).

3.2.2 Cal

A cal hidratada tipo CH-I foi a escolhida para ser utilizada na realização deste programa experimental. Segundo o fabricante, as propriedades desta matéria-prima são provenientes do carbonato de cálcio natural cretáceo de origem sedimentar marinha e a cal apresenta uma estrutura microcristalina romboédrica e

grau de dureza Mohs de 3 (CARBOMIL, 2014). Para caracterização química da cal hidratada tipo CH-I foi realizado o ensaio de Espectrometria de Fluorescências de Raios X (FRX) no Laboratório de Raios X do Departamento de Física da UFC. Os resultados dessa caracterização encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – A caracterização química da cal

| Ensaio | Resultados (%) | Limites da Norma |
|---|----------------|------------------|
| Óxido de alumínio (Al_2O_3) | 0,09 | NA |
| Dióxido de silício (SiO_2) | 0,28 | $\leq 0,3 \%$ |
| Trióxido de enxofre (SO_3) | 0,02 | NA |
| Óxido de potássio (K_2O) | 0,04 | NA |
| Óxido de cálcio (CaO) | 99,22 | $\geq 70,0\%$ |
| Óxido de ferro (Fe_2O_3) | 0,26 | NA |
| Óxido de estrôncio (SrO) | 0,08 | NA |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: NA – Não aplicável.

3.2.3 Água

A água utilizada na produção de todas as argamassas foi proveniente da rede de abastecimento do município de Fortaleza, fornecida pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) para o Campus do Pici, na UFC.

3.2.4 Areia natural

A areia de leito de rio, denominada como areia natural, empregada nesta pesquisa experimental é proveniente das margens do Rio Curu, litoral oeste do Estado do Ceará, entre os municípios de Paraipaba e Paracuru. A referida areia foi comprada em um depósito de materiais de construção próximo ao Campus do Pici e entregue no LMCC da UFC.

3.2.5 Areia de britagem

As areias britadas estudadas neste trabalho experimental são oriundas de 3 pedreiras da RMF como pode ser verificado na Figura 7. A areia A é proveniente da pedreira localizada em Pacatuba-CE, a areia D é oriunda da região de Itaitinga-CE e a areia G é encontrada na jazida do município do Eusébio-CE.

Figura 7 – Localização das pedreiras no mapa da RMF



Fonte: Adaptado de Cavalcanti e Parahyba (2011).

3.3 Caracterização das areias

Para o desenvolvimento deste estudo foi aproveitado os dados de caracterizações realizados por Costa (2015), porém foi coletada outra amostra de areia britada G e areia natural devido não ter material suficiente para produzir as argamassas. Portanto, foi realizada caracterização nessas novas amostras.

As areias de britagem foram caracterizadas em relação às composições químicas, mineralógicas, petrográficas, granulométricas e análise da forma dos grãos. Para a areia de leito de rio foi realizada apenas caracterização granulométrica e análise da forma dos grãos. A Tabela 9 apresenta os ensaios de caracterização realizados nos agregados miúdos e suas respectivas normas brasileiras editadas pela ABNT e procedimentos desenvolvidos pelos laboratórios da UFC.

Tabela 9 – Os ensaios de caracterização e índices físicos realizados nas areias.

| Ensaio | Norma/procedimento |
|--|----------------------|
| Granulometria, dimensão máxima característica e módulo de finura | ABNT NBR NM 248:2003 |
| Massa específica (kg/m ³) | ABNT NBR NM 52:2009 |
| Massa unitária - Estado solto (kg/m ³) | ABNT NBR NM 45:2006 |

(continuação)

| Ensaio | Norma/procedimento |
|-----------------------------------|---|
| Teor de material pulverulento (%) | ABNT NBR NM 46:2003 |
| Fluorescência de raios X | Procedimento do Laboratório de Raios X da UFC |
| Difração de raios X | Procedimento do Laboratório de Raios X da UFC |
| Análise Petrográfica | ABNT NBR 7389-1:2009 |
| Análise da forma dos grãos | Aggregate Image Measurement System (AIMS) |

Fonte: Adaptado de Costa (2015).

Devido à inviabilidade de experimentar os oito tipos de areias de britagem para a produção de concretos, Costa (2015) dividiu-as em três grupos que contiveram resultados semelhantes obtidos pelos ensaios de petrografia e de granulometria, os quais estão apresentados na Tabela 10. Dessa forma, para o desenvolvimento desse estudo foi escolhido uma areia de cada grupo, que foi a areia A do Grupo 1, a areia D do Grupo 2 e a areia G do Grupo 3.

Tabela 10 – As areias de britagem classificada por grupos

| Ensaio | Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 |
|---------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| | Areias A, C e H | Areias B e D | Areias E, F e G |
| Petrografia | Monzogranito | Monzodiorito | Fonólito |
| DMC | 4,8 | 4,8 | 2,4 |

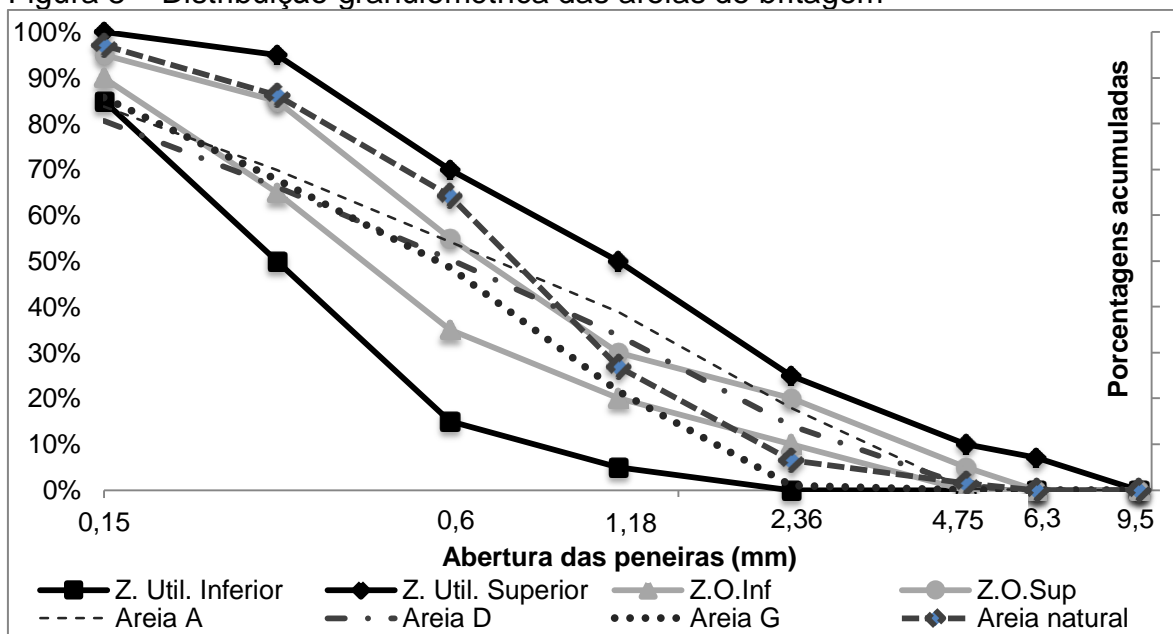
Fonte: Costa (2015).

3.3.1 Análise Granulométrica

Todos os agregados miúdos foram homogeneizados separadamente, conforme determina a ABNT NBR NM 26:2009 e a ABNT NBR NM 27:2001.

Como não existe uma norma específica que defina os parâmetros dos agregados miúdos para uso em argamassa utilizou-se as prescrições da ABNT NBR 7211:2009, que define os parâmetros dos agregados miúdos para produção de concretos. Então, para o desenvolvimento das curvas granulométricas de todos os agregados miúdos utilizou-se os limites de zona utilizável inferior e superior assim como a zona ótima inferior e superior. Dessa forma, a Figura 8 apresenta as curvas granulométricas da areia natural e das areias de britagem A, D e G.

Figura 8 – Distribuição granulométrica das areias de britagem



Verifica-se, na Figura 8, que areia natural e as areias britadas A, D, e G apresentam o arranjo granulométrico dentro dos limites definidos pela norma ABNT NBR 7211:2009. A ABNT NBR NM 248:2003 propõe os esclarecimentos de 2 parâmetros, a Dimensão Máxima Característica (DMC) e o Módulo de Finura (MF). A Tabela 11 apresenta os valores de DMC e MF dos agregados miúdos utilizados.

Tabela 11 – Dimensão Máxima Característica e módulo de finura

| Agregado miúdo | Dimensão Máxima Característica (mm) | Módulo de finura |
|----------------|-------------------------------------|------------------|
| Areia natural | 4,8 | 2,82 |
| Areia A | 4,8 | 2,61 |
| Areia D | 4,8 | 2,46 |
| Areia G | 2,4 | 2,25 |

Fonte: Adaptado de Costa (2015).

A ABNT NBR 7211:2009 classifica os valores de módulo de finura dos agregados miúdos no intervalo de 2,20 a 2,90 em zona ótima, no intervalo de 1,55 a 2,20 em zona utilizável inferior e no intervalo de 2,90 a 3,50 em zona utilizável superior. Portanto, areia natural e as areias britadas A, D e G apresentadas na Tabela 11 são classificadas na zona ótima. Verifica-se também que a DMC da areia

natural e das areias A e D apresentam o mesmo valor de 4,8 mm diferentemente da areia G que é 2,4 mm.

3.3.2 Índices físicos

A massa específica, a massa unitária, absorção de água e o teor de material pulverulento estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Os índices físicos dos agregados miúdos

| Agregado miúdo | Massa específica (Kg/m³) | Massa unitária (kg/m³) | Absorção de água (%) | Teor de material pulverulento (%) |
|-----------------------|--|--|-----------------------------|--|
| Areia natural | 2506 | 1460 | 0,45 | 1,03 |
| Areia A | 2670 | 1750 | 0,60 | 10,56 |
| Areia D | 2520 | 1740 | 0,88 | 10,20 |
| Areia G | 2434 | 1561 | 1,04 | 10,47 |

Fonte: Adaptado de Costa (2015).

Verifica-se na Tabela 12 que todas as areias apresentam massas específicas normais e que todas as areias de britagem apresentam maiores valores de massa unitária e de absorção de água do que a areia natural. Além disso, todas as areias britadas possuem 10 vezes mais teor de material pulverulento do que a areia natural.

Esses dados estão compatíveis com Pandolfo e Masuero (2005), Tristão (2005), Westerholm *et al.* (2008), Carneiro (2009), Arnold e Kazmiercak (2009), Arnold (2011) e Acele (2012) que afirmam que os agregados britados apresentam maiores teores de finos e que estes conduzem ao aumento da fricção entre os grãos. Segundo Freitas (2010), as areias de britagem apresentaram maiores valores de massa unitária do que a areia natural devido elas possuírem maiores teores de material pulverulento.

3.3.3 Caracterização Petrográfica

Na Tabela 13 são apresentados os resultados da classificação Petrográfica e a textura das areias de britagem segundo Costa (2015) e a classificação da unidade litológica conforme Cavalcanti e Parahyba (2011).

Tabela 13 – Classificação petrográfica das areias de britagem.

| Areia | Tipo de rocha | Unidade litológica | Classificação petrográfica | Textura |
|---------|---------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
| Areia A | Ígnea | Paragnaisses e granitóides | Monzogranito | Inequigranular |
| Areia D | Ígnea | Granitóides | Monzodiorito | Inequigranular |
| Areia G | Ígnea | Vulcânicas alcalinas | Fonólito | Porfírica |

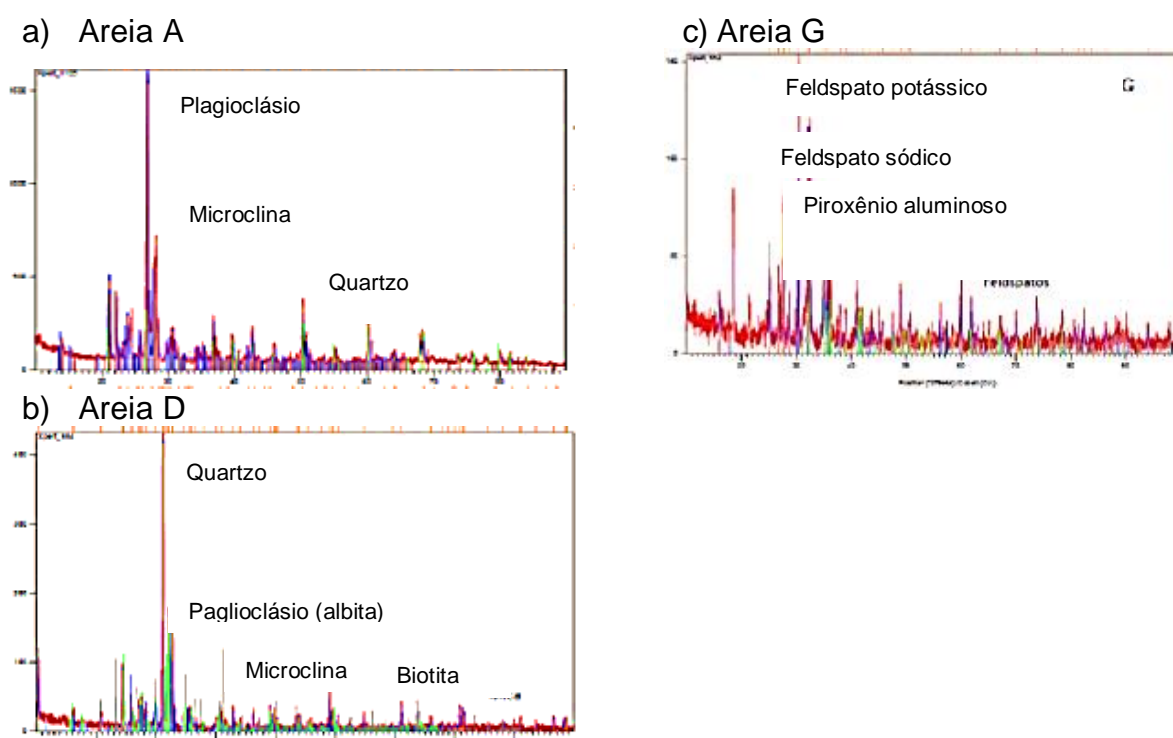
Fonte: Adaptado de Costa (2015).

Constata-se, na Tabela 13, que todas as areias são originadas de rochas ígneas. O tipo litológico da areia A é paragnaisse e granitóide e a areia D é granitóide. A análise petrográfica classificou as areias A e D como monzogranito e monzodiorito, que são originadas de rochas graníticas compostas de quartzo, feldspatos e mica. Para a areia G obteve a análise Petrográfica classificada como fonólito e apresenta o tipo litológico de rochas vulcânicas alcalinas.

3.3.4 Caracterização Mineralógica

Nas Figura 9-a a 9-c estão apresentados os difratogramas de Raios X das areias de britagem realizados por Costa (2015).

Figura 9 – Difratograma de Raio X das amostras de areias de britagem



Fonte: Costa (2015).

Observam-se, nos difratogramas os picos altos de cristalinidade de paglioclásio, microclima, quartzo e feldspatos potássicos, sódicos e piroxênio aluminoso. Segundo Costa (2015), depende-se que os resultados encontrados definem rochas formadas por minerais de estruturas cristalinas e estáveis não apresentando ameaças de reações deletérias quando usadas como agregado no concreto.

3.3.5 Análise Química

Na Tabela 14 são apresentados os resultados da análise química das areias de britagem, segundo (COSTA, 2015).

Tabela 14 – Resultados do ensaio de FRX das areias de britagem

| Elemento | % teores dos elementos químicos nas areias de britagem | | |
|----------|--|-------|-------|
| | A | D | G |
| Si | 38,74 | 54,58 | 44,52 |
| K | 8,22 | 18,85 | 17,36 |
| Al | 12 | 10,96 | 14,54 |
| Fe | 20,4 | 7,21 | 10,15 |
| Ca | 14,83 | 6,14 | 5,73 |
| Na | - | - | 4,55 |
| Ti | 3,06 | 1,08 | 1,16 |
| Mn | 0,68 | - | 0,73 |
| Zr | 0,5 | - | 0,32 |
| Cl | - | 0,06 | 0,29 |
| P | 0,98 | - | 0,23 |
| Sr | 0,3 | 0,13 | 0,2 |
| Rb | - | 0,16 | 0,12 |
| Nb | - | - | 0,05 |
| S | 0,14 | - | - |
| Zn | 0,1 | - | - |
| Mg | - | 0,77 | - |

Fonte: Costa (2015).

Observa-se, na Tabela 14, que os percentuais dos elementos químicos como silício (Si), potássio (K), alumínio (Al), ferro (Fe) e cálcio (Ca) representam mais de 90% da composição química em todas as areias. Já o somatório dos demais teores

representa menos de 10% das suas composições. Também é possível notar um alto teor de silício (Si) em todas as amostras.

3.3.6 Análise da forma dos grãos

Na Tabela 15 estão apresentados os percentuais de concentração dos grãos das areias utilizadas por faixa de classificação da forma 2D. Este ensaio foi realizado por Costa (2015).

Tabela 15 – Classificação de forma 2D dos grãos das areias

| Areia | Concentração (%) | | | |
|---------------|------------------|--------------|--------------|----------|
| | Circular | Semicircular | Semialongado | Alongado |
| Areia A | 14,0 | 31,2 | 43,0 | 11,8 |
| Areia D | 17,5 | 29,3 | 37,6 | 15,6 |
| Areia G | 31,6 | 36,4 | 26,8 | 5,1 |
| Areia natural | 30,1 | 35,0 | 28,6 | 6,3 |

Fonte: Costa (2015).

Constata-se, na Tabela 15, que os grãos das areias de britagem A e D apresentam maiores concentrações na faixa semialongado e em seguida na faixa do semicircular. Já os grãos da areia britada G e da areia natural possuem maiores concentrações na faixa semicircular e em seguida na faixa circular. Dessa forma, a areia G apresenta características de forma 2D de grãos semelhantes a da areia natural. Na Tabela 16 estão apresentados os percentuais de concentração dos grãos das areias utilizadas classificadas pelo parâmetro de angularidade.

Tabela 16 – Classificação de angularidade das areias

| Areia | Concentração (%) | | | |
|---------------|------------------|----------------|------------|---------|
| | Arredondado | Subarredondado | Subangular | Angular |
| Areia A | 5,5 | 44,8 | 32,9 | 16,7 |
| Areia D | 6,7 | 49,1 | 33,1 | 11,1 |
| Areia G | 13,6 | 71,0 | 11,1 | 4,4 |
| Areia Natural | 12,7 | 55,7 | 25,4 | 6,3 |

Fonte: Costa (2015).

Constata-se, por meio dos dados da Tabela 16, que todas as areias analisadas apresentam um maior índice de concentração de grãos na faixa

subarredondado, e em seguida subangular, sendo a areia britada G a que possuem maior percentual nessa faixa. A areia natural e as areias de britagem A e D possuem a segunda maior concentração de grãos na faixa subangular. Já na areia britada G tem a segunda maior concentração de grãos na faixa arredondada. Portanto, a areia A e D possuem maior proximidade da areia natural no que se refere ao parâmetro de angularidade.

3.4 Método de pesquisa

3.4.1 Formulação das argamassas

Para Rato (2006), a formulação das argamassas é uma tarefa complexa que depende das características dos constituintes a ser utilizado como o tipo de ligante, a natureza mineralógica e a granulometria do agregado miúdo e, ainda, eventuais adições e/ou aditivos.

Neste projeto experimental foi utilizado o traço, em volume, de 1:1:6 (cimento:cal:agregado miúdo), por ser essa a formulação a mais empregada em argamassas de revestimentos pelas construtoras da cidade de Fortaleza. Os aglomerantes utilizados, cimento Portland CP-II-Z-32 e cal hidratada CH-I, utilizados foram obtidos de um único fornecedor.

Foram formuladas argamassas em que a areia natural foi substituída, na mesma quantidade em volume, por areias de britagem A, D e G. Esta substituição foi feita nas porcentagens de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%. Dessa forma, foram confeccionadas doze tipos de argamassas utilizando 3 tipos de areias britada e 1 tipo de argamassa de referência. Para fazer o cálculo do teor de substituição da areia natural por areia de britagem, em volume, seguiu as informações de Cabral (2007) e utilizou os dados de massa específica das areias formulando a Equação 1.

$$M_{ab} = M_{an} \cdot \frac{\gamma_{ab}}{\gamma_{an}} \quad (1)$$

Onde:

M_{ab} = Massa da areia de britagem (kg);

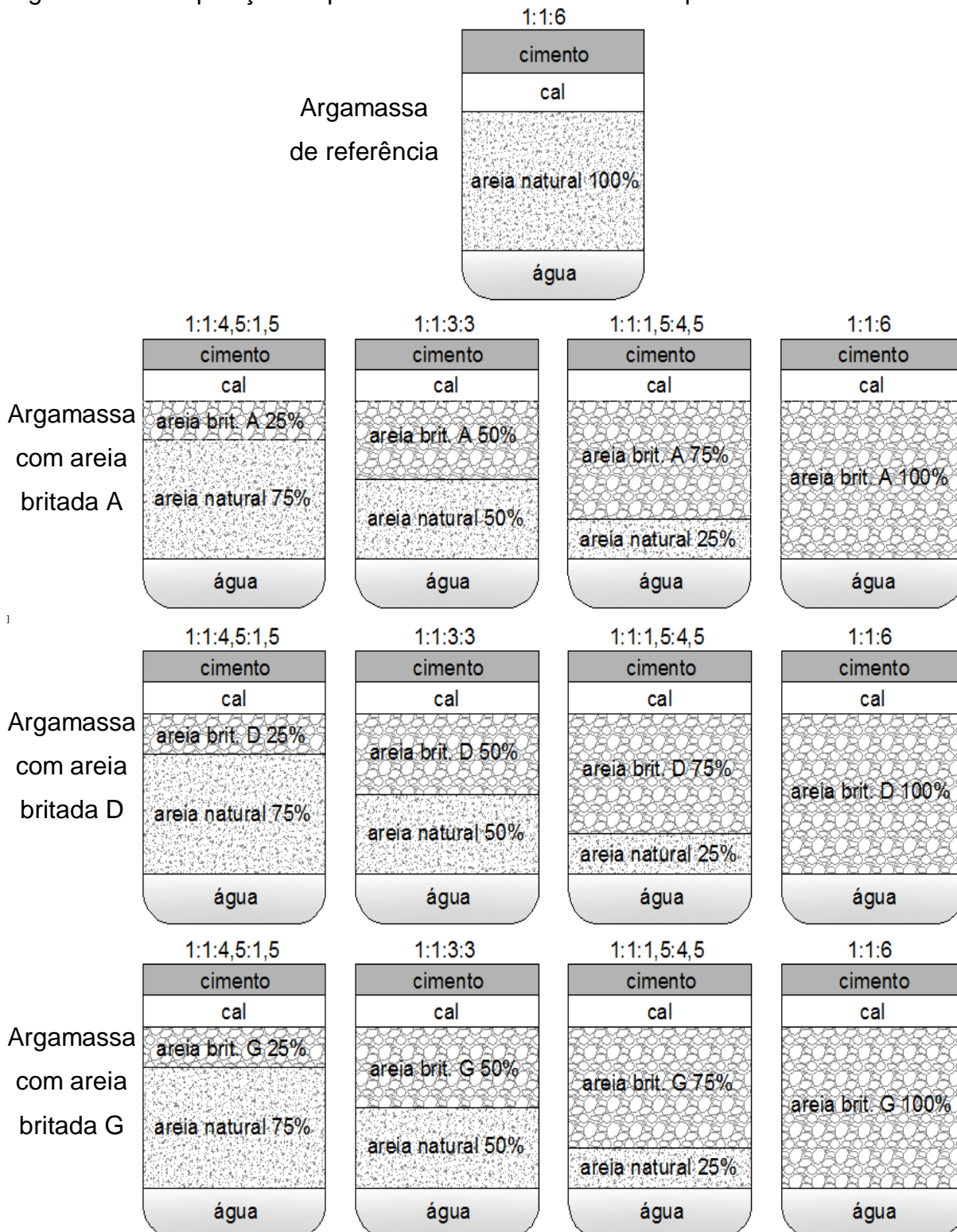
M_{an} = Massa da areia natural (kg);

γ_{ab} = Massa específica da areia de britagem (kg/cm^3);

γ_{an} = Massa específica da areia natural (kg/cm^3).

A Figura 10 apresenta de forma esquemática as misturas produzidas, assim como os seus traços volumétricos.

Figura 10 – Composição esquemática de todas as misturas produzidas



Fonte: Elaborada pela autora.

As proporções em volume dos materiais demonstrados na Figura 10 foram convertidas em massa como está apresentado na Tabela 17. A Tabela 18 apresenta o consumo dos materiais por m³ de argamassa.

Tabela 17 – Descrição dos traços em massa com os teores de substituição da areia natural por areia de britagem

| Agregados miúdos | % substituição | Traço em massa | | | | |
|------------------|----------------|----------------|-----|---------------|---------------|------|
| | | Cimento | Cal | Areia natural | Areia britada | Água |
| Natural | 0% | 1 | 0,4 | 7,174 | - | 1,62 |
| Areia A | 25% | 1 | 0,4 | 5,381 | 1,911 | 1,61 |
| | 50% | 1 | 0,4 | 3,587 | 3,822 | 1,60 |
| | 75% | 1 | 0,4 | 1,794 | 5,733 | 1,60 |
| | 100% | 1 | 0,4 | - | 7,644 | 1,64 |
| Areia D | 25% | 1 | 0,4 | 5,381 | 1,804 | 1,59 |
| | 50% | 1 | 0,4 | 3,587 | 3,607 | 1,54 |
| | 75% | 1 | 0,4 | 1,794 | 5,411 | 1,54 |
| | 100% | 1 | 0,4 | - | 7,215 | 1,57 |
| Areia G | 25% | 1 | 0,4 | 5,381 | 1,742 | 1,55 |
| | 50% | 1 | 0,4 | 3,587 | 3,4847 | 1,53 |
| | 75% | 1 | 0,4 | 1,794 | 5,226 | 1,52 |
| | 100% | 1 | 0,4 | - | 6,968 | 1,53 |

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 18 – Consumo dos materiais por m³ de argamassa

| Agregados miúdos | % substituição | Consumo de materiais por m ³ | | | | |
|------------------|----------------|---|-------|---------------|---------------|--------|
| | | Cimento | Cal | Areia natural | Areia britada | Água |
| Natural | 0% | 198,71 | 79,48 | 1425,60 | - | 321,90 |
| Areia A | 25% | 198,71 | 79,48 | 1069,20 | 379,72 | 319,92 |
| | 50% | 198,71 | 79,48 | 712,80 | 759,45 | 317,93 |
| | 75% | 198,71 | 79,48 | 356,40 | 1139,17 | 317,93 |
| | 100% | 198,71 | 79,48 | - | 1518,90 | 325,88 |
| Areia D | 25% | 198,71 | 79,48 | 1069,20 | 358,39 | 315,94 |
| | 50% | 198,71 | 79,48 | 712,80 | 716,78 | 306,01 |
| | 75% | 198,71 | 79,48 | 356,40 | 1075,17 | 306,01 |
| | 100% | 198,71 | 79,48 | - | 1433,57 | 311,97 |
| Areia G | 25% | 198,71 | 79,48 | 1069,20 | 346,16 | 307,99 |
| | 50% | 198,71 | 79,48 | 712,80 | 692,32 | 304,02 |
| | 75% | 198,71 | 79,48 | 356,40 | 1038,48 | 302,03 |
| | 100% | 198,71 | 79,48 | - | 1384,64 | 304,02 |

Fonte: Elaborado pela autora.

3.4.2 Produção e preparação das argamassas

3.4.2.1 Amassamento

As argamassas foram produzidas segundo o procedimento indicado pela norma NBR 13276 (ABNT, 2005). Para realização do processo de amassadura, iniciou-se com a pesagem dos materiais que foram dosados em massa com o auxílio de balança de precisão de 0,1 g. Tendo todas as quantidades de materiais pesados, colocou-se a areia, a cal hidratada e a água em uma argamassadeira mecânica de eixo planetário, conforme a

Figura 11. Os materiais foram misturados e homogeneizados durante 4 minutos em velocidade baixa. Em seguida, pesou-se o material preparado.

Figura 11 – Argamassadeira mecânica



Fonte: Própria

A argamassa à base de cimento e cal hidratada passou pelo intervalo de maturação de 16 h a 24 h antes da sua utilização. Após esse intervalo, pesou-se novamente o material preparado. A diferença de peso do material produzido antes e depois da maturação é a massa de água que foi perdida por evaporação. Colocou-se o material preparado novamente na argamassadeira e acrescentou a massa de água perdida por evaporação e a massa de cimento definida no traço. Realizou-se uma nova homogeneização em velocidade baixa, por 4 minutos.

Foram feitos vários experimentos com a quantidade de 2,5 kg de materiais secos adicionados a uma quantidade de água (relação água/cimento), que

se aproximasse do índice de consistência de 245 ± 10 mm, determinados na mesa de consistência para todas as argamassas.

3.4.3 Ensaio das argamassas

Todos os ensaios realizados nas argamassas no estado fresco e endurecido seguiram as metodologias descritas pelas normas brasileiras da ABNT.

3.4.3.1 Índice de consistência

O ensaio para determinação do índice de consistência tem como objetivo avaliar a trabalhabilidade e a fluidez das argamassas tendo sido realizado segundo a norma da NBR 13276 (ABNT, 2005). Este ensaio permitiu determinar a quantidade de água necessária para o preparo da argamassa com um índice de consistência fixo igual a 245 ± 10 mm. Embora a norma registre o intervalo de ± 5 mm, optou-se por aumentar o intervalo devido as variáveis climáticas que interferem nesse consumo de água e na evaporação da mesma. Iniciou-se um conjunto de argamassas teste, de modo a determinar um mesmo índice de consistência para todas as argamassas.

O valor do índice de consistência resulta da média das três medidas de diâmetro do espalhamento. Para cada argamassa, foram efetuados dois ensaios e, se os valores individuais destes dois ensaios diferirem da média em menos 10%, este será o valor do índice de consistência da argamassa. Caso essa diferença seja superior a 10%, o ensaio deverá ser repetido.

3.4.3.2 Densidade de massa no estado fresco

Esse ensaio foi realizado seguindo a metodologia da norma NBR 13278 (ABNT, 2005) e tende a avaliar a influência da areia de britagem na densidade de massa e no teor de ar incorporado da argamassa. A determinação do valor de densidade de massa no estado fresco foi executada duas vezes para cada argamassa, considerando-se, para os efeitos de cálculo, o seu valor médio.

3.4.3.3 *Teor de ar incorporado*

Após o resultado do valor de densidade de massa, calcula-se o teor de ar incorporado na mistura. Para obtenção do teor de ar incorporado é necessário ainda o cálculo da massa específica das argamassas, que foi obtido seguindo procedimentos da norma NBR 13278 (ABNT, 2005).

Segundo Tristão (1995), o teor de ar incorporado influencia a trabalhabilidade e a resistência de aderência dos revestimentos devido ao aumento ou diminuição da fração fina de aglomerantes, pois esse fator contribui para uma maior ou menor retenção de água. O ar incorporado presente na argamassa depende de vários fatores, como o tipo de mistura, de agregados, de cimento, de cal, assim como a utilização de aditivos.

3.4.3.4 *Retenção de água*

O ensaio de retenção de água foi realizado de acordo com a norma NBR 13277 (ABNT, 2005). O ensaio consiste em determinar a quantidade de água retirada de uma porção de argamassa contida em um funil de Büchner modificado por meio de uma sucção realizada utilizando uma bomba de vácuo a baixa pressão. A leitura da quantidade de perda de água é feita após 15 minutos de sucção.

A

Figura 12 apresenta o equipamento utilizado para realização deste ensaio e a Figura 13 ilustra a pesagem do conjunto (funil, papel filtro e argamassa). Este ensaio foi realizado duas vezes para cada argamassa, considerando-se, para os efeitos de cálculo, o seu valor médio.

Figura 12 – Equipamento de retenção de água



Fonte: Elaborada pela autora



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 13 – Pesagem do conjunto (argamassa + papel filtro + funil)

3.4.3.5 *Densidade massa no estado endurecido*

Esse ensaio foi realizado aos 28 dias seguindo os princípios da norma NBR 13280 (ABNT, 2005). Apesar de a norma especificar os corpos-de-prova prismáticos, foram utilizados os mesmos corpos-de-prova cilíndricos utilizados no ensaio de módulo de elasticidade. Para cada tipo de argamassa foram utilizados três corpos-de-prova. Em todos eles são aferidas as medidas de largura, altura e comprimento através de paquímetro, além da sua massa. Aplicou-se a equação dada pela norma. O resultado final foi à média dos três valores encontrados.

3.4.3.6 *Módulo de elasticidade dinâmico*

Para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro por 100 mm de altura para cada traço de argamassa, sendo estes ensaiados aos 28 dias segundo a norma NBR 15630 (ABNT, 2008). A Figura 14 apresenta o ensaio utilizando o equipamento de ultrassom Pundit Lab, da marca Proceq. Para cada corpo-de-prova, foram realizadas três leituras, sendo considerada a de menor valor. Em seguida, aplicou-se na

equação dada pela norma. Foram repetidas três vezes esse processo de forma que o resultado final foi a média dos três valores obtidos.

Figura 14 – Realização do ensaio de ultrassom



Fonte: Elaborada pela autora

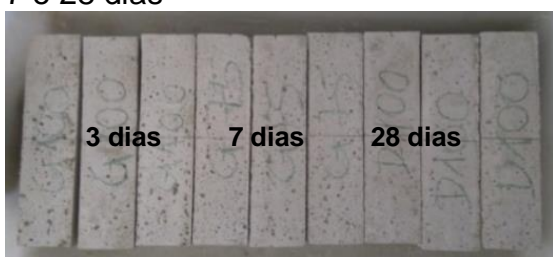
3.4.3.7 Resistência à tração na flexão

Para o ensaio de resistência à tração na flexão foram moldados nove corpos-de-prova prismáticos com dimensões de 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada traço de argamassa, conforme a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Foram ensaiados três corpos-de-prova com a idade de três dias, mais três com a idade de sete dias e mais três com a idade de vinte e oito dias, conforme a Figura 15, utilizando a máquina universal de ensaios, modelo DL 10.000, marca EMIC, com velocidade de carregamento de 50 ± 10 N/s, representado pela

Figura 17.

O resultado final do ensaio de resistência à tração na flexão é obtido por meio da média dos valores encontrados nos três corpos-de-prova por idade. A Figura 16 ilustra os corpos-de-prova rompidos e as suas metades foram utilizadas no ensaio de resistência à compressão.

Figura 15 – Corpos-de-prova da argamassas a serem rompidos com 3, 7 e 28 dias



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 16 – Corpos-de-prova rompidos



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 17 – Corpo-de-prova na máquina EMIC



Fonte: Elaborada pela autora.

3.4.3.8 Resistência à compressão

O ensaio de resistência à compressão foi realizado nas idades de 3, 7 e 28 dias, nos seis corpos-de-prova por idade, conforme a norma NBR 13279 (ABNT, 2005). Para realização deste ensaio utilizou-se a máquina universal de ensaios, modelo DL 10.000, marca EMIC, com velocidade de carregamento de 500 ± 50 N/s, conforme mostra Figura 18. O resultado final por idade é a média dos seis valores encontrados.

Figura 18 – Corpo-de-prova na máquina EMIC

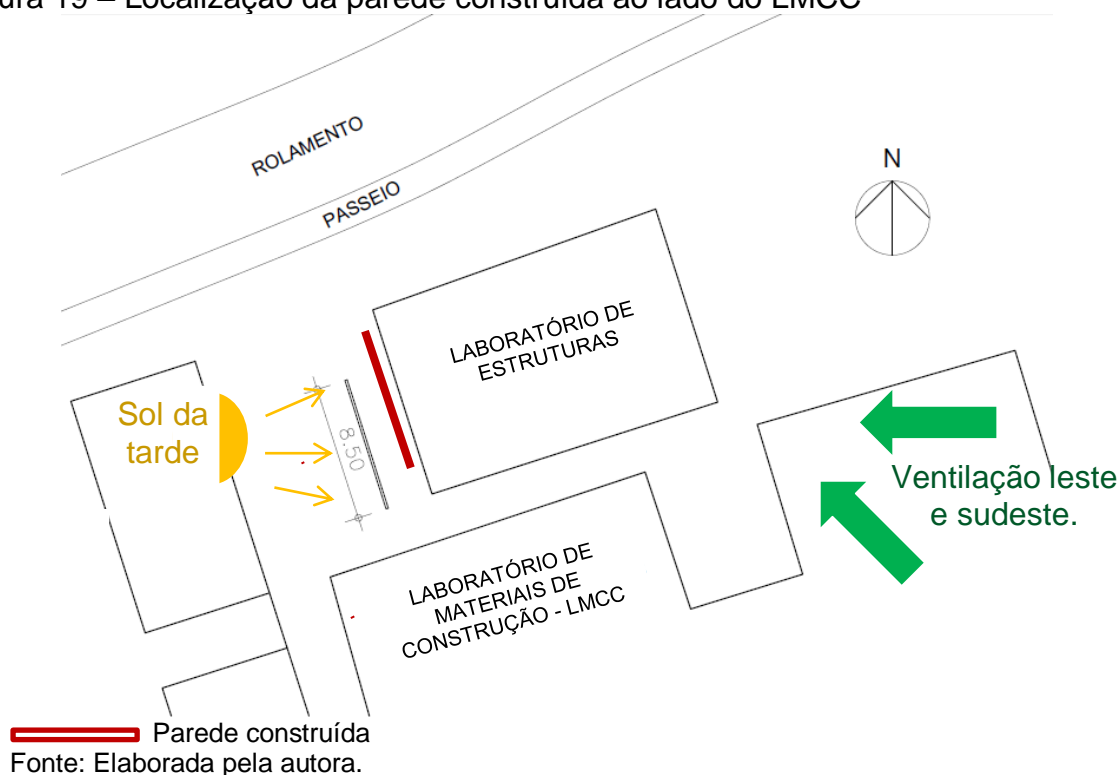


Fonte: Elaborada pela autora

3.4.3.9 Resistência de aderência à tração

Para realização do ensaio de resistência de aderência à tração foi construída uma parede de 8,50 m de largura por 1,60 m de altura ao lado do LMCC. A Figura 19 apresenta a localização da parede construída para a aplicação dos 13 painéis argamassados, bem como, a incidência do sol e dos ventos no local.

Figura 19 – Localização da parede construída ao lado do LMCC



Conforme a Figura 19, verifica-se que a parede recebe a incidência do sol e a sua posição é totalmente voltada para o poente. No local percebe-se que o sol incide na parede a partir das 11:00 horas. Esta posição favorece o aparecimento de fissuras e descolamentos devido às elevadas temperaturas as quais a parede é submetida. A parede é composta de tijolos cerâmicos de 8 furos assentados com argamassas de traço 1:8 (cimento:areia de rio lavada), em massa. Foi aplicado chapisco após 72 horas com o traço de 1:3 (cimento:areia de rio lavada), em massa.

A fissuração foi avaliada sob iluminação natural, identificando-se a quantidade e o comprimento das fissuras. A medição das fissuras foi realizada na idade de 56 dias, utilizando barbante para determinar o comprimento linear total das fissuras para cada tipo de argamassa. Os painéis de revestimentos de argamassas têm as dimensões de 1,00 m de largura e 0,70 m de altura.

Cavaco (2003) menciona que a exposição da argamassa aos agentes atmosféricos, principalmente nos primeiros dias após a aplicação é um fator determinante, pois o sol excessivo e a exposição do vento podem causar uma secagem muito rápida, aumentando o risco de fissuras. A Figura 20 apresenta a parede construída com os 13 painéis de argamassas já aplicados.

Figura 20 – Parede construída ao lado LMCC com os 13 painéis argamassados



Fonte: Elaborada pela autora.

A aderência da argamassa ao substrato foi avaliada pelo ensaio de resistência de aderência à tração, aos 28 dias de idade, e conforme as especificações estabelecidas pela norma NBR 13258 (ABNT, 2010). Para realização desse ensaio foi utilizado o equipamento hidráulico modelo Dinateste, pastilhas de ferro com seção circular de 50 mm de diâmetro.

Os meses da realização deste ensaio, do presente trabalho, foi Setembro, Outubro e Novembro de 2015. A Figura 21 ilustra a marcação de círculo realizado através de uma furadeira para em seguida serem coladas as pastilhas de ferro. A Figura 22 exemplifica a execução do ensaio de resistência de aderência com a utilização do equipamento citado anteriormente.

Figura 21 – Execução do ensaio



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 22 – Execução do ensaio



Fonte: Elaborada pela autora

3.4.4 Análise dos dados dos ensaios das argamassas

Para a análise estatística dos dados obtidos por meio dos ensaios realizados nas argamassas no estado fresco e endurecido foi utilizado o software *Statistica 7.0*. Portanto, utilizou-se a análise de variância (ANOVA) que apresenta um nível de confiança de 95% com a verificação da influência dos fatores controláveis. Para a interpretação dos resultados da ANOVA verificam-se os valores do teste estatístico “F” e o valor “p”. O teste “F” refere-se à variância dos resultados para o fator em questão e o valor “p” refere-se à probabilidade dos resultados ocorrerem ao acaso. Contudo, quando o valor do teste “F” é maior do que F crítico e o valor “p” é menor do que 0,05 informa que mais significativamente é a influência do fator independente na resposta da variável dependente analisada.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na realização dos ensaios definidos no capítulo anterior. Para a análise dos resultados recorreu-se a discussões com estudos anteriores e à análise de variância (ANOVA). A exposição dos dados se deu por meio de representações em tabelas e figuras.

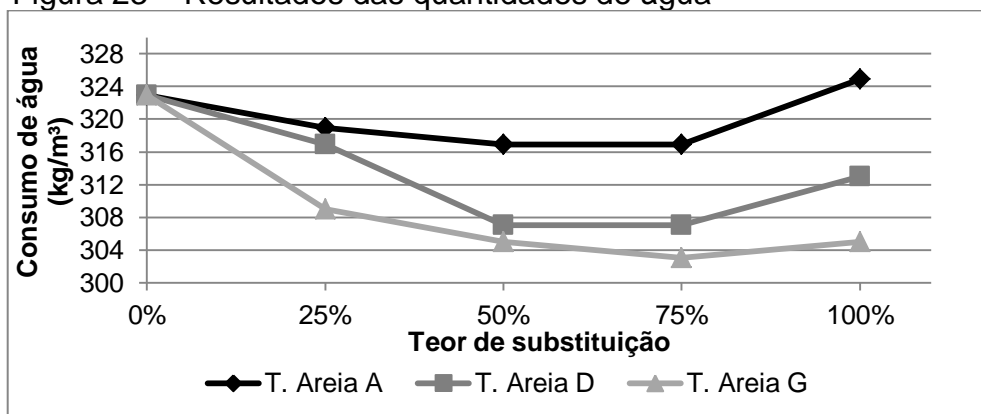
4.1 Apresentação e análise dos resultados

4.1.1 Resultados de propriedades no estado fresco

4.1.1.1 Teor de água

A Figura 23 apresenta os resultados da quantidade de água para cada tipo de argamassa produzida. No Apêndice A, apresentam-se mais informações detalhadas deste ensaio.

Figura 23 – Resultados das quantidades de água



Fonte: Elaborado pela autora.

Observam-se na Figura 23 que todas as argamassas produzidas com areia de britagem apresentaram menores valores de consumo de água em relação à argamassa de referência exceto a argamassa com a incorporação de 100% de areia de britagem A que apresentou um consumo de água equivalente ao da argamassa com 100% de areia natural. Dessas argamassas, as com inclusão de areia britada G foram as que obtiveram menores consumos de água.

- Análise estatística

Nas Tabela 19, 20 e 21 estão apresentadas as análises de variância do consumo de água das argamassas produzidas com as areias de britagem A, D e G. As tabelas de análises de variância dos demais ensaios apresentados a seguir se encontram nos apêndices.

Tabela 19 – Análise de variância do consumo de água das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|--------------|----------|-------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 84,89 | 3 | 28,30 | 14,333 | 0,013189 | 6,5914 | S |
| Erro | 7,90 | 4 | 1,97 | | | | |
| Total | 92,79 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela 20 – Análise de variância do consumo de água das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|---------------|----------|-------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 142,15 | 3 | 47,38 | 24 | 0,005101 | 6,5914 | S |
| Erro | 7,90 | 4 | 1,97 | | | | |
| Total | 150,05 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela 21 – Análise de variância do consumo de água das argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|--------------|----------|-------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 37,51 | 3 | 12,50 | 6,3333 | 0,053308 | 6,5914 | NS |
| Erro | 7,90 | 4 | 1,97 | | | | |
| Total | 45,41 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Na Tabela 22 estão apresentados os resultados de significância extraídos das Tabelas de análises de variância apresentadas acima para o consumo de água das argamassas produzidas com as areias britadas A, D e G.

Tabela 22 – Significância do consumo de água das argamassas

| Fator | Significância | | |
|---------------------|---------------|---------|---------|
| | Areia A | Areia D | Areia G |
| % areia de britagem | S | S | NS |

Fonte: Elaborado pela autora.

Legenda: S – Significativo; NS – Não significativo.

Constatam-se na Tabela 22 que as areias de britagem A e D exercem influência significativa no consumo de água das argamassas produzidas ao contrário das argamassas com areia britada G. Para explicar essa ocorrência, verificaram-se as características dos grãos das areias apresentadas no Capítulo de Materiais e Métodos e foram selecionadas algumas dessas características. A Tabela 23 apresenta a caracterização das areias de britagem e natural quanto ao teor de material pulverulento, a forma 2D e angularidade dos grãos.

Tabela 23 – Caracterização das areias de britagem e natural

| Areia | Teor de material pulverulento (%) | Forma 2D | Angularidade |
|---------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| A | 10,56 | Semialongado/ semicircular | Subarredondado/ subangular |
| D | 10,20 | Semialongado/ semicircular | Subarredondado /subangular |
| G | 10,47 | Semicircular/ circular | Subarredondado/ arredondado |
| Natural | 1,03 | Semicircular /circular | Subarredondado/ subangular |

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se na Tabela 23, que todas as areias de britagem apresentaram maiores teores de materiais pulverulentos do que a areia natural. Quanto a forma 2D e a angularidade, nota-se que os grãos das areias britadas A e D apresentam semelhanças entre si e a areia de britagem G apresenta maior proximidade da areia natural.

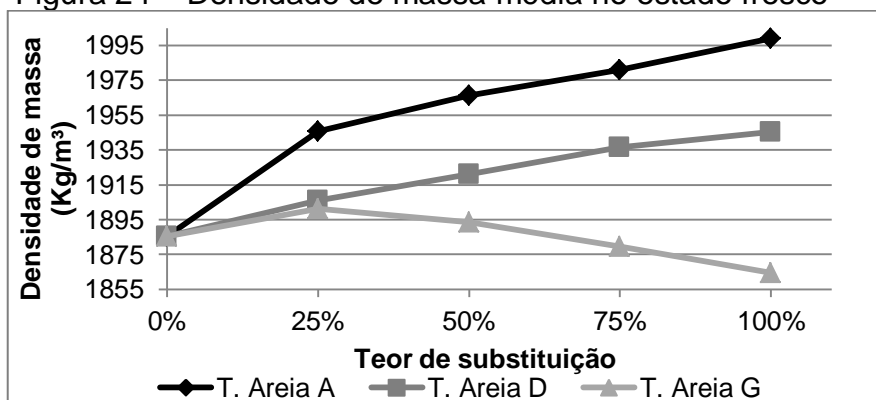
Silva (2006), Guacelli (2010) e Freitas (2010) também constataram em suas pesquisas uma redução do consumo de água nas argamassas com a incorporação de areia de britagem em relação à argamassa com areia natural. Os autores explicam que essa ocorrência é devido à presença de um número maior de material pulverulento encontrados nas areias britadas em relação a areia natural. Esses finos agem como lubrificantes atenuando os choques entre os grãos do

agregado miúdo e facilitando a rolagem deles. Esse fenômeno tende a diminuir o consumo de água.

4.1.1.2 Densidade de massa

Os resultados de densidade de massa média no estado fresco das argamassas fabricadas estão apresentados na Figura 24 e os resultados individuais em detalhe estão apresentados no Apêndice B.

Figura 24 – Densidade de massa média no estado fresco



Fonte: Elaborada pela autora.

Verifica-se na Figura 24 que os resultados de todas as argamassas produzidas com areia de britagem apresentaram valores de densidade de massa maiores do que a produzida com areia natural, exceto a argamassa com a incorporação de 75% e 100% de areia de britagem G.

- Análise estatística

A Tabela 24 apresenta a significância obtida das análises de variância da densidade de massa nas argamassas produzidas com a incorporação das areias britadas A, D e G. As tabelas de análises de variância encontram-se no Apêndice B.

Tabela 24 – Análise de variância da densidade de massa das argamassas

| Fator | Análise de significância | | |
|---------------------|--------------------------|---------|---------|
| | Areia A | Areia D | Areia G |
| % areia de britagem | S | S | S |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: S – Significativo; NS – Não significativo.

Nota-se na Tabela 24 que a utilização das areias de britagem A, D e G interfere significativamente na densidade de massa no estado fresco das argamassas confeccionadas. Esses resultados estão em conformidade com os resultados obtidos por Pandolfo *et al.* (2005), Tristão *et al.* (2005), Silva (2006), Sampaio e Bastos (2009), Guacelli (2010), Freitas (2010), Rosa (2013) que afirmam que o acréscimo de densidade de massa se deve à massa específica do agregado miúdo. Este fato pode ser explicado devido as areias de britagem A e D apresentarem maiores valores de massa específica, 2670 kg/m³ e 2520 kg/m³ respectivamente, do que a areia natural, 2506 kg/m³.

As argamassas com a incorporação de areia G obtiveram menores valores de densidade de massa em relação à argamassa de referência à medida que aumentava o seu teor de substituição. Essa ocorrência é devido o agregado miúdo de britagem G apresentar menor valor de massa específica, 2434 kg/m³, do que a areia natural, 2506 kg/m³.

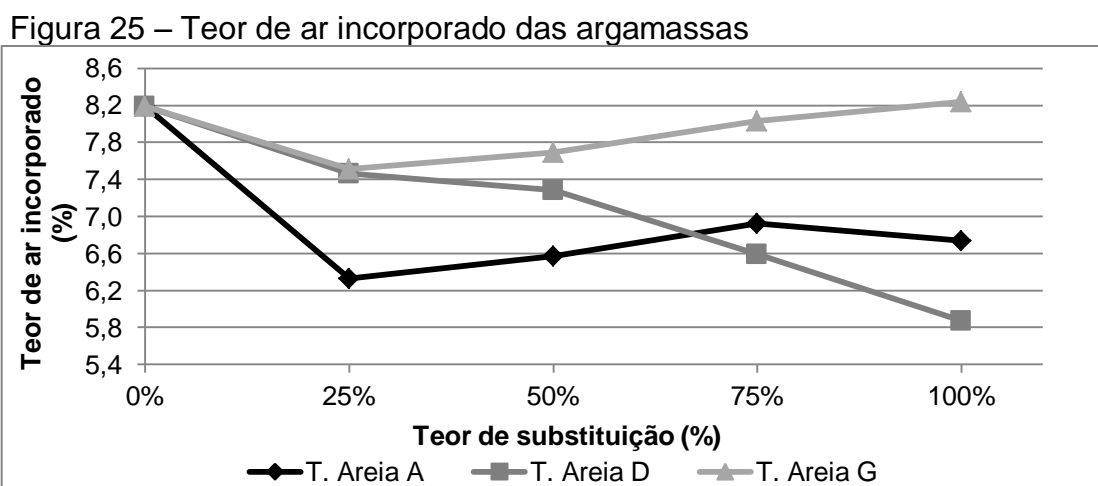
Silva (2014) também comprovou em sua pesquisa que a diminuição significativa da densidade de massa tanto no estado fresco como no estado endurecido estava relacionada com o aumento do teor de substituição de areia natural por agregados de resíduos plásticos, pois estes agregados apresentaram menores valores de massa específica do que a areia natural.

Pandolfo *et al.* (2005), Tristão *et al.* (2005), Silva (2006), Sampaio e Bastos (2009), Guacelli (2010), Freitas (2010), Rosa (2013) ainda dizem que esta situação pode ser explicada devido às areias britadas possuírem maiores percentuais de microfios do que a areia natural, pois os finos ocupam os vazios entre os grãos de areia, aumentando assim a compactidade das argamassas com incorporação de areia de britagem. Arnold (2011) verificou em seu estudo que o aumento da densidade de massa está relacionado com a adição de fíler o que contribui para um melhor empacotamento das partículas.

Conforme a ABNT NBR 13281:2005, a faixa de classificação das argamassas de referência e das com areias de britagem A, D e G segundo a densidade de massa no estado fresco foi a D5.

4.1.1.3 Teor de ar incorporado

A Figura 25 apresenta os resultados de teor de ar incorporado das argamassas com as areias britadas A, D e G. No Apêndice C estão apresentados os resultados brutos desse ensaio.



Ao analisar a Figura 25 nota-se que todas as argamassas confeccionadas com a areia de britagem obtiveram valores menores de ar incorporado do que a argamassa com 100% de areia natural, exceto a argamassa com 100% de areia britada G que obteve valor similar ao da argamassa de referência. As argamassas com areias britadas A e G obtiveram um acréscimo nos valores de teor de ar incorporado à medida que se aumenta o teor de substituição de areia natural por essas areias. Já as argamassas com a utilização de areia de britagem D apresentaram um decréscimo nos valores de teor de ar incorporado à medida que se aumenta o teor de substituição de areia natural por essa areia. Dessas argamassas, as com inclusão de areia britada G foram as que obtiveram maiores valores de teor de ar incorporado.

- Análise estatística

A Tabela 25 apresenta a significância obtida das análises de variâncias do teor de ar incorporado nas argamassas produzidas com as areias de britagem A, D e G, tais análises se encontram no Apêndice C.

Tabela 25 – Análise de variância do teor de ar incorporado das argamassas

| Fator | Análise de significância | | |
|---------------------|--------------------------|---------|---------|
| | Areia A | Areia D | Areia G |
| % areia de britagem | NS | S | NS |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: S – Significativo; NS – Não significativo.

Percebe-se na Tabela 25 que a incorporação de areia de britagem A e G não afeta significativamente no teor de ar incorporado nas argamassas confeccionadas ao contrário das argamassas com areia britada D.

Pandolfo *et al.* (2005), Tristão *et al.* (2005), Silva (2006), Sampaio e Bastos (2009), Guacelli (2010), Freitas (2010) consideram que essa ocorrência é devido ao maior teor de material pulverulento existentes nas areias de britagem em relação ao da areia natural. Outro fator que pode ser considerado é a utilização da cal em argamassas de revestimento, pois esse material diminui os teores de ar incorporados (ROSA, 2013).

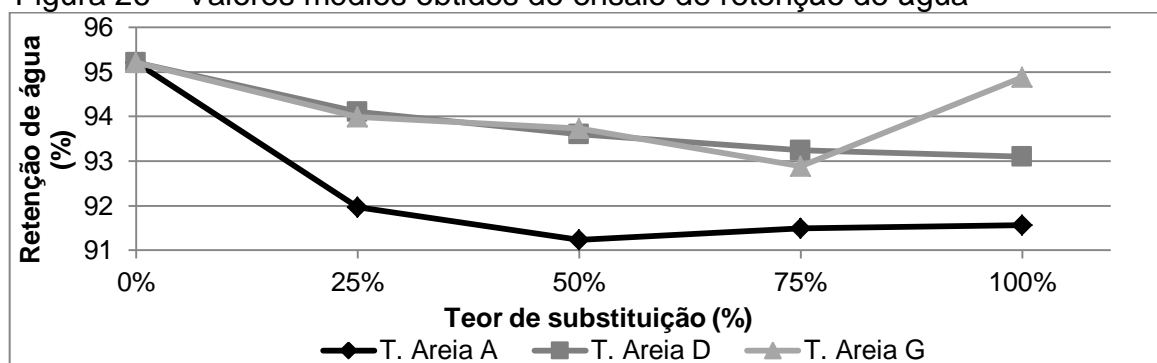
Os baixos valores de teores de ar incorporado constatados nas argamassas produzidas com areias britadas A e D são devido aos elevados valores de densidade de massa no estado fresco encontrados nessas areias. Já as argamassas com areia de britagem G apresentaram maiores valores de teores de ar incorporado devido aos seus menores valores de densidade de massa no estado fresco. Isso também foi comprovado por Silva (2006), Arnold e Kazmierczak (2009) e Guacelli (2010) em seus estudos.

Outro fator que explica esses resultados é destacado por Silva (2006) ao afirmar que o teor de ar incorporado é inversamente proporcional ao teor de água. As argamassas com areia de britagem G obtiveram maiores valores de ar incorporado e menores consumo de água enquanto as com areia britada A obtiveram menores valores de ar incorporado e maiores teores de água.

4.1.1.4 Retenção de água

Os resultados obtidos da capacidade de retenção de água nas argamassas produzidas com as areias de britagem A, D e G estão apresentados na Figura 26. Os resultados brutos desse ensaio estão apresentados no Apêndice D.

Figura 26 – Valores médios obtidos do ensaio de retenção de água



Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se na Figura 26 que as argamassas formuladas com areia de britagem apresentaram valores de retenção de água elevados embora sejam menores que o valor da argamassa com areia natural. A argamassa com a incorporação de 100% de areia de britagem G foi a que obteve maior proximidade com o valor de retenção de água da argamassa de referência.

- Análise estatística

A Tabela 26 apresenta a significância retirada das análises de variância de retenção de água nas argamassas produzidas com as areias de britagem A, D e G. As tabelas de análises de variância estão apresentadas no Apêndice D.

Tabela 26 – Significância de retenção de água das argamassas

| Fator | Significância | | |
|---------------------|---------------|---------|---------|
| | Areia A | Areia D | Areia G |
| % areia de britagem | NS | NS | NS |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: S – Significativo; NS – Não significativo.

Observa-se na Tabela 26 que o uso de areia de britagem A, D e G não é considerado significativo na retenção de água das argamassas confeccionadas. Rosa (2013) afirma que os valores elevados de retenção de água é um fator positivo para explicar a boa plasticidade da mistura e redução de fissuras já que a mistura não perderá água abruptamente para o meio. Para Alves (2005), a retenção de água está relacionada com os materiais que apresentam uma área de superfície específica elevada e uma maior superfície molhada, sendo estes responsáveis por

gerar um aumento de tensão superficial, o qual tende a manter a água absorvida pelas partículas.

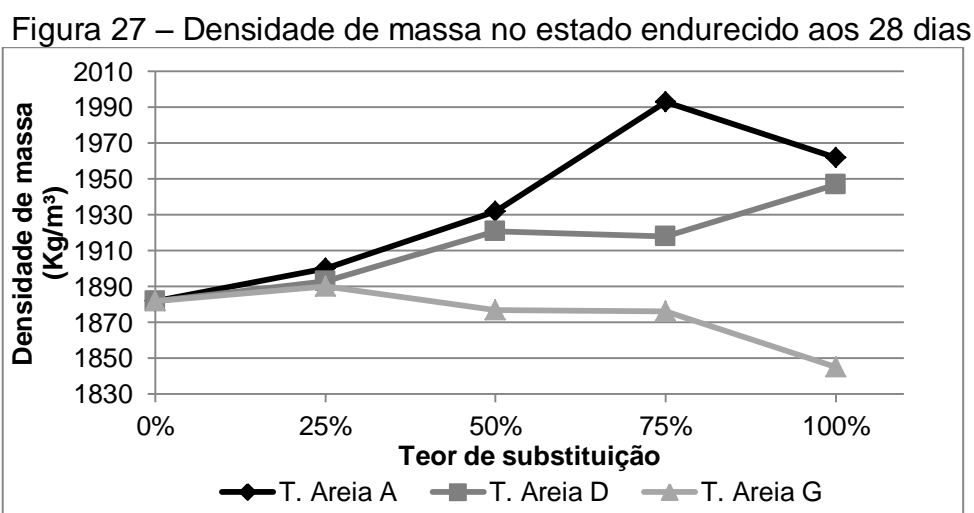
Segundo Guimarães (2002), Morales e Tristão (2011), Mattana (2013) e Rosa (2013), a utilização da cal hidratada CH-I é a grande responsável por elevados valores de retenção de água, pois a utilização desse material, que também foi utilizado nesse estudo, traz benefícios como o aumento da resistência à penetração de água favorecendo a trabalhabilidade da argamassa, bons resultados de resistência à compressão e a tração além de aumento da compacidade da argamassa.

As argamassas com areia de britagem foram classificadas quanto ao requisito de retenção de água como classe U5 e a de referência como a U6 segundo determinações da ABNT NBR 13281:2005.

4.1.2 Resultados de propriedades no estado endurecido

4.1.2.1 Densidade de massa

Na Figura 27 são apresentados os resultados médios de densidade de massa no estado endurecido. Os dados brutos obtidos deste ensaio estão apresentados no Apêndice E.



Fonte: Elaborada pela autora.

Constata-se na Figura 27 que as argamassas com areia de britagem A e D obtiveram maiores valores de densidade de massa após o endurecimento em

relação às argamassas com areia britada G e areia natural, tal como acontece com os valores de densidade de massa no estado fresco.

- Análise estatística

A Tabela 27 apresenta a significância de densidade de massa das argamassas preparadas com as areias de britagem A, D e G baseado nas análises de variância, as quais estão apresentadas no Apêndice E.

Tabela 27 – Significância de densidade de massa das argamassas

| Fator | Significância | | |
|---------------------|---------------|---------|---------|
| | Areia A | Areia D | Areia G |
| % areia de britagem | NS | S | NS |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: S – Significativo; NS – Não significativo.

Observa-se na Tabela 27 que a incorporação das areias de britagem A e G não são significativas para determinação da densidade de massa no estado endurecido nas argamassas produzidas. Porém, os teores de areia britada D são significativos.

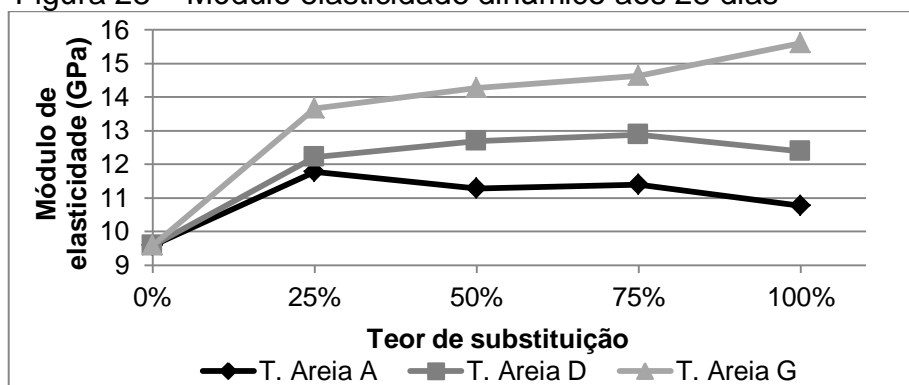
Conforme Pandolfo *et al.* (2005), Tristão *et al.* (2005), Silva (2006), Sampaio e Bastos (2009), Guacelli (2010), Freitas (2010), Rosa (2013), a justificativa para este fato é que as areias de britagem possuem maiores teores de frações finas e por isso produzem maiores teores de pasta de argamassa ocupando os vazios entre os grãos maiores do agregado miúdo, aumentando assim o empacotamento dos grãos. Os autores afirmam que o acréscimo de densidade de massa se deve à massa específica do agregado miúdo.

Portanto, as argamassas com areia de britagem A e D apresentarem maiores valores de massa específica, 2670 kg/m³ e 2520 kg/m³ respectivamente, do que a areia natural, 2506 kg/m³. As argamassas com a incorporação de areia G obtiveram menores valores de densidade de massa do que a argamassa de referência devido o agregado miúdo de britagem G apresentar menor valor de massa específica, 2434 kg/m³, do que o valor da areia natural mencionado acima. Conforme a ABNT NBR 13281:2005, todas as argamassas fabricadas foram classificadas quanto à densidade de massa no estado endurecido na faixa M6.

4.1.2.2 Módulo de Elasticidade Dinâmico

Os resultados médios do módulo de elasticidade dinâmico ensaiados aos 28 dias são apresentados na Figura 28. Os resultados individuais para cada corpo de prova estão apresentados no Apêndice F.

Figura 28 – Módulo elasticidade dinâmico aos 28 dias



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 28 demonstra que a argamassa de referência possui o menor módulo de elasticidade dinâmico em relação às argamassas com as areias de britagem. Das argamassas com areias britadas, as que apresentaram maiores valores de módulos de elasticidades foram as com areia de britagem G.

- Análise estatística

A Tabela 28 apresenta a significância dos resultados de módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias das argamassas preparadas com incorporação de areias de britagem A, D e G obtidas das análises de variância, as quais estão apresentadas no Apêndice F.

Tabela 28 – Significância do módulo de elasticidade aos 28 dias

| Fator | Significância | | |
|---------------------|---------------|---------|---------|
| | Areia A | Areia D | Areia G |
| % areia de britagem | NS | NS | S |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: S – Significativo; NS – Não significativo

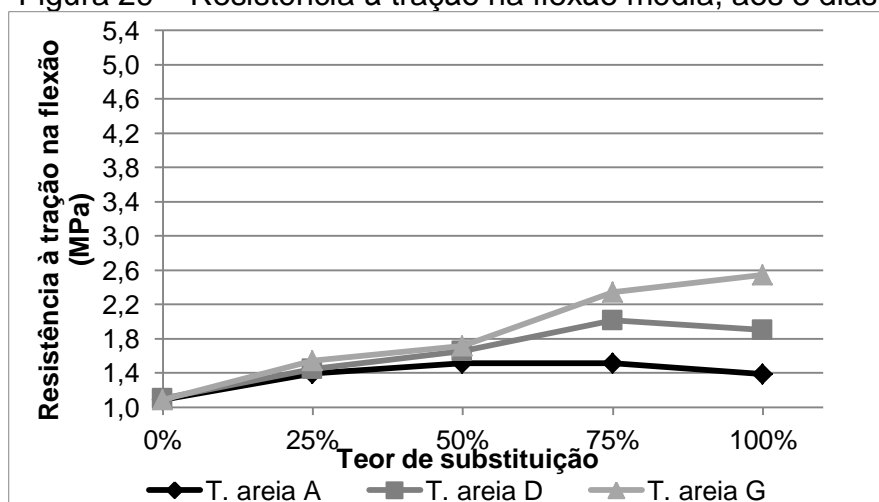
Ao analisar a Tabela 28 percebe-se que os percentuais de areias de britagem A e D não interferem significativamente nos resultados de módulo de elasticidade em todas as argamassas fabricadas, ao contrário das argamassas com a areia britada G. Silva (2006), Moura (2007), Silva e Campiteli (2008), Guacelli (2010), Bastos *et al.* (2010) e Stolz (2011) constataram em sua pesquisa maiores valores de módulo de elasticidade nas argamassas com areias britadas do que na argamassa com areia natural, tal comportamento está relacionado com maiores valores de densidade de massa e conseqüentemente de material pulverulento.

Rosa (2013) verificou experimentalmente o contrário dos autores mencionados acima quando analisou argamassas com areia natural e areia de britagem adicionando diversos percentuais de microfinos. O autor constatou que o comportamento elástico das argamassas está relacionado com o empacotamento dos microfinos adicionados as argamassas. Os resultados apresentaram maiores módulos de elasticidade e menores valores de densidade de massa nas argamassas com areia natural do que nas argamassas com areias britadas.

4.1.2.3 Resistência à tração na flexão

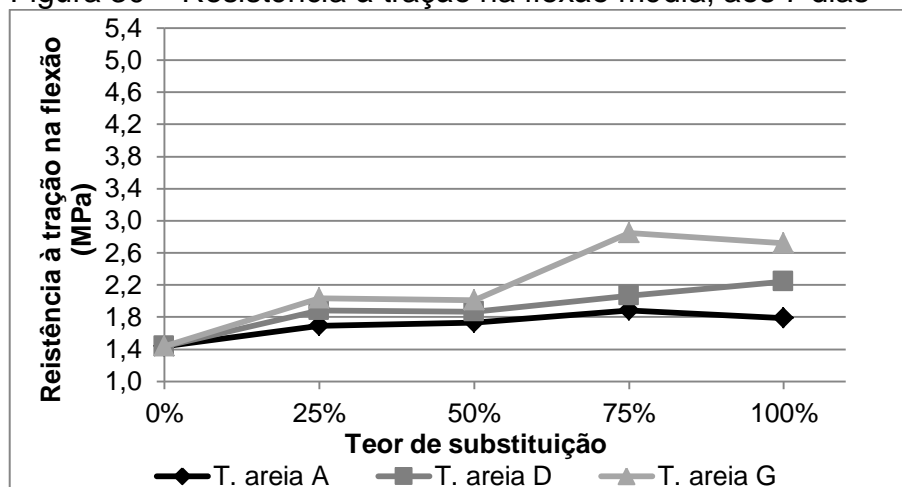
Os resultados médios deste ensaio realizado em cada argamassa formulada com a incorporação de areia de britagem A, D e G, aos 3, 7 e 28 dias, estão apresentados nas Figura 29, 30 e 31, respectivamente. Os resultados brutos estão apresentados no Apêndice G.

Figura 29 – Resistência à tração na flexão média, aos 3 dias



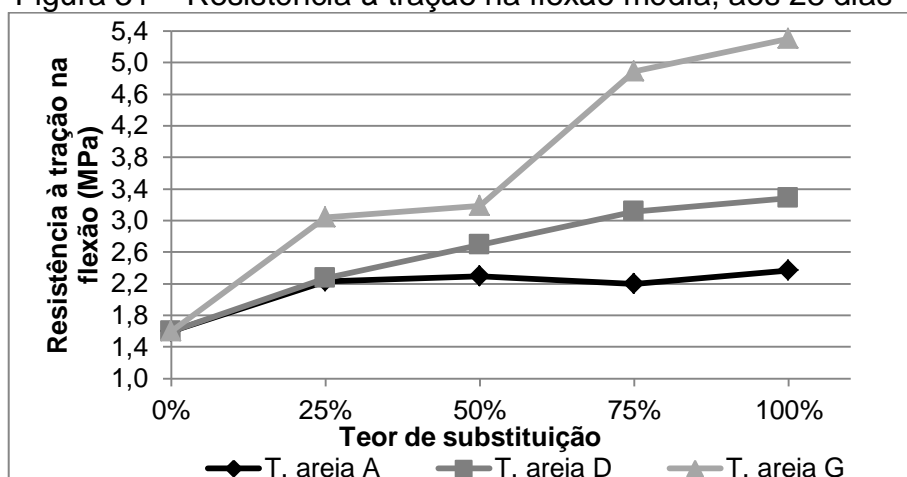
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 30 – Resistência à tração na flexão média, aos 7 dias



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 31 – Resistência à tração na flexão média, aos 28 dias



Fonte: Elaborada pela autora.

Nas Figura 29, 30 e 31, constatam-se maiores valores de resistência à tração na flexão para todas as argamassas confeccionadas com a incorporação de areia de britagem em relação à argamassa com areia natural em todas as idades ensaiadas. É possível notar também um valor mais elevado de resistência à tração na flexão nas argamassas produzidas com areia de britagem G em relação às com areias britadas A e D.

- Análise estatística

A Tabela 29 apresenta a significância obtida das análises de variância de resistência à tração na flexão aos 3, 7 e 28 dias das argamassas preparadas com

incorporação de areias de britagem A, D e G. As análises de variância estão apresentadas no Apêndice G.

Tabela 29 – Significância da resistência à tração na flexão aos 3, 7 e 28 dias

| Fator | Significância | | | | | | | | |
|------------------|---------------|----|----|---------|---|----|---------|---|----|
| | Areia A | | | Areia D | | | Areia G | | |
| | 3 | 7 | 28 | 3 | 7 | 28 | 3 | 7 | 28 |
| % areia britagem | NS | NS | NS | S | S | S | S | S | S |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: S – Significativo; NS – Não significativo

Conforme a Tabela 29 o uso da areia britada A nas argamassas não altera significativamente a resistência à tração na flexão em nenhuma das idades ensaiadas. Já as areias de britagem D e G são significativas.

Segundo Pandolfo *et al.* (2005), Tristão *et al.* (2005), Silva (2006), Sampaio e Bastos (2009), Guacelli (2010), Freitas (2010), Rosa (2013), a tendência crescente de resistência à tração na flexão se deve ao fato das argamassas confeccionadas com a utilização de agregado miúdo de britagem apresentarem maiores valores de densidade de massa no estado endurecido, resultante da maior concentração de fração fina presentes neste agregado em relação a areia natural e também ao menor de índice de vazios, o que contribui para um produto de compacidade mais elevada.

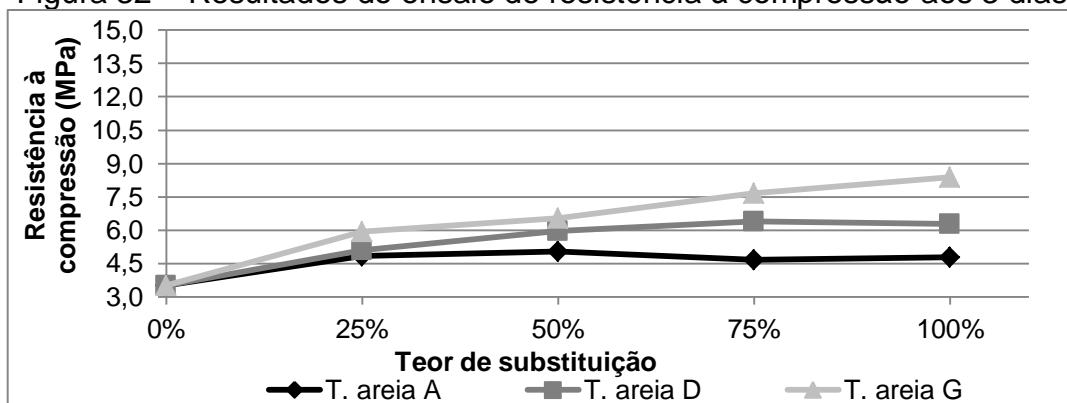
Porém, as argamassas com areia de britagem G apresentaram menores valores densidades de massa no estado fresco e endurecido, menores consumos de água e maiores valores de resistência à tração na flexão. Freitas *et. al* (2010) explicam que os maiores valores de resistências à tração na flexão e à compressão encontrados nas argamassas são devido as areias de britagem consumirem menos água e apresentarem maiores teores de materiais finos.

Através da classificação determinada pela ABNT NBR 13281:2005, foi analisado os resultados de resistência à tração na flexão nas argamassas aos 28 dias e verificou-se que todas as argamassas com areias britadas situaram em faixas mais elevadas do que a argamassa de referência que situou na faixa R3. A maioria das argamassas com areia A ficaram na faixa R4, as com areia D na faixa R5 e as com areia G na faixa R6.

4.1.2.4 Resistência à compressão

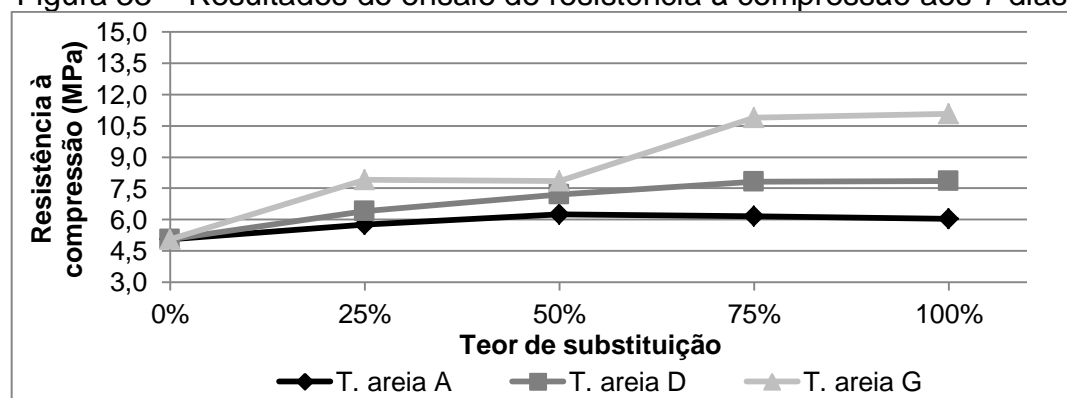
Os resultados médios obtidos do ensaio de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias são apresentados nas Figura 32, 33 e 34, respectivamente. No Apêndice H estão apresentados os resultados brutos.

Figura 32 – Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 3 dias



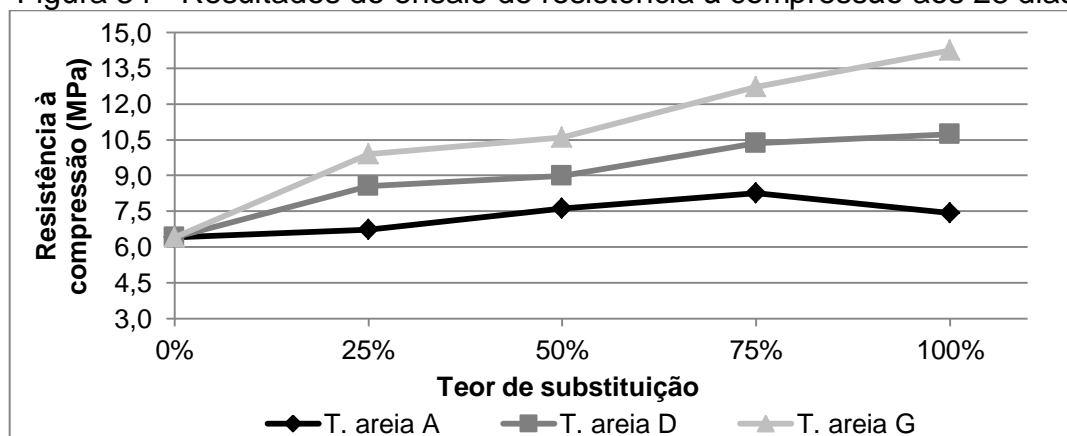
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 33 – Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 7 dias



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 34 - Resultados do ensaio de resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Elaborada pela autora.

Verifica-se nas Figura 32, 33 e 34 que todas as argamassas preparadas com areia de britagem obtiveram valores maiores de resistência à compressão do que a argamassa de referência. É possível observar também um valor mais elevado de resistência à compressão nas argamassas produzidas com areia de britagem G do que com as areias A e D.

- Análise estatística

A Tabela 30 mostra a significância extraída das análises de variância de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias das argamassas preparadas com incorporação de areias de britagem A, D e G. No Apêndice H estão apresentadas as análises de variância.

Tabela 30 – Significância da resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias

| Fator | Significância | | | | | | | | |
|------------------|---------------|---|----|---------|---|----|---------|---|----|
| | Areia A | | | Areia D | | | Areia G | | |
| | 3 | 7 | 28 | 3 | 7 | 28 | 3 | 7 | 28 |
| % areia britagem | S | S | S | S | S | S | S | S | S |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: S – Significativo; NS – Não significativo

Com base no estudo dos resultados expostos na Tabela 30, constata-se que os percentuais de areias de britagem interferem significativamente nos resultados de resistência à compressão nas argamassas em todas as idades.

Conforme Pandolfo *et al.* (2005), Tristão *et al.* (2005), Silva (2006), Sampaio e Bastos (2009), Guacelli (2010), Freitas (2010), Rosa (2013), maiores valores de resistências em argamassas com areias britadas são devido a maiores valores de densidade de massa no estado endurecido, maior concentração de fração fina presentes neste agregado em relação a areia natural.

Arnold e Kazmiercak (2009) verificaram que o teor de material pulverulento contribui para o aumento da resistência à compressão, da densidade de massa no estado fresco e do módulo de elasticidade dinâmico e diminui o teor de ar incorporado. Porém, as argamassas com areia de britagem G apresentaram menores valores em densidades de massa no estado fresco e endurecido e maiores valores de módulo de elasticidade e de resistência à compressão. Freitas *et. al*

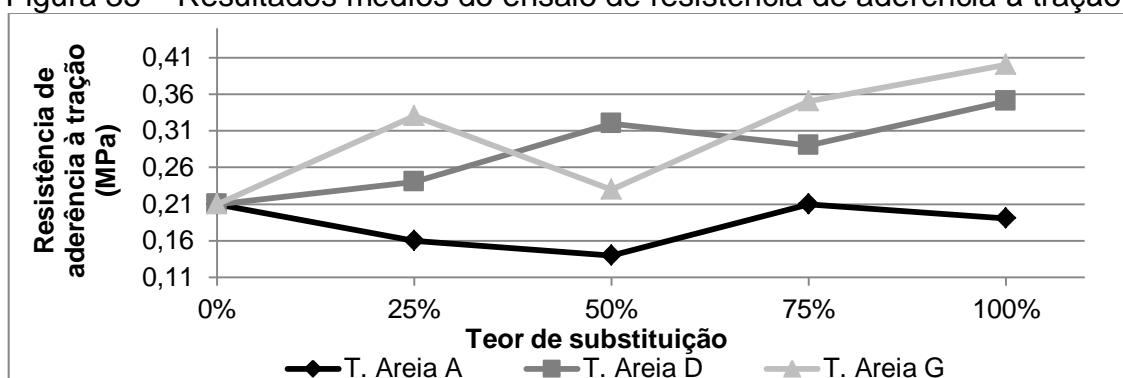
(2010) explicam que isso se deve ao fato da areia de britagem consumir menos água e apresentar maiores percentuais de material pulverulento.

A ABNT NBR 13281:2005 determina a classificação quanto ao requisito de resistência à compressão para as argamassas aos 28 dias. Dessa forma, a argamassa de referência e a maioria das argamassas produzidas com a incorporação de areia de britagem A situaram na faixa P5. Já as argamassas preparadas com areia de britagem D e G ficaram na faixa P6.

4.1.2.5 Resistência de aderência à tração

A Figura 35 apresenta os resultados médios do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas com a incorporação de areia britada A, G e D. No Apêndice I, está apresentado com mais detalhe a totalidade dos resultados obtidos nesse ensaio.

Figura 35 – Resultados médios do ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: Elaborada pela autora.

Constata-se, na Figura 35, que as argamassas preparadas com a incorporação de areias britadas D e G obtiveram maiores valores de resistência de aderência à tração do que argamassa confeccionada com 100% de areia natural e a argamassa com areia de britagem A. Sendo que esta apresentaram valores de resistências de aderência ligeiramente inferiores a da argamassa de referência.

- Análise estatística

A Tabela 31 apresenta a significância obtida das análises de variância de resistência de aderência à tração aos 28 dias nas argamassas preparadas com

incorporação de areias de britagem A, D e G, respectivamente. As análises de variância estão apresentadas no Apêndice I.

Tabela 31 – Significância da resistência de aderência à tração aos 28 dias

| Fator | Significância | | |
|---------------------|---------------|---------|---------|
| | Areia A | Areia D | Areia G |
| % areia de britagem | NS | S | S |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: S – Significativo; NS – Não significativo

Ao observar a Tabela 31, verifica-se que os percentuais de areias de britagem D e G interferem significativamente nos resultados de resistência de aderência à tração aos 28 dias. Porém, o uso da areia britada A nas argamassas não altera significativamente a resistência de aderência à tração.

Selmo (1999) explica que a relação água/cimento interfere nos resultados de resistência de aderência à tração. A autora constatou em sua pesquisa que o acréscimo de resistência de aderência à tração ocorre à medida que diminui a relação água/cimento. As argamassas preparadas com areia de britagem D e G obtiveram menores valores de relação água/cimento se comparados às argamassas confeccionadas com areia de britagem A.

Bauer e Gonçalves (2010) informam que a resistência de aderência é prejudicada com a grande quantidade de microfinos em argamassas que tendem a fechar os poros do substrato e a impedir a adequada ancoragem. Rosa (2013) também explica que os microfinos e a água presentes na pasta entram nos poros da superfície do substrato de forma a obstruí-los diminuindo a resistência de aderência do revestimento. Isso também justifica, pois a areia britada A apresenta maior valor de teor de material pulverulento em torno de 10,56% em relação a areia de britagem D e G, 10,20% e 10,47%, respectivamente.

A ABNT NBR 13281:2005 classifica os resultados de resistência de aderência à tração nas argamassas aos 28 dias. Dessa forma, a maioria das argamassas com a incorporação de areia de britagem A situaram na faixa A1. Já as argamassas de referência e a maioria das argamassas com areia de britagem D ficaram na faixa A2. Na faixa A3 ficaram as argamassas com a incorporação de areia de britagem G.

4.1.3 Medições das fissuras nas argamassas

As Figura 36 (a, b) e 37 (a, b) mostram os painéis de argamassa com 100% de areia de britagem G e D, respectivamente assim como o fissurômetro fixado próximo as fissuras.

Figura 36 – Painel e medição de fissuras da argamassa TG 100%

a)



Fonte: Elaborada pela autora.

b)



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 37 – Painel e medição das fissuras da argamassa TD 100%

a)



Fonte: Elaborada pela autora.

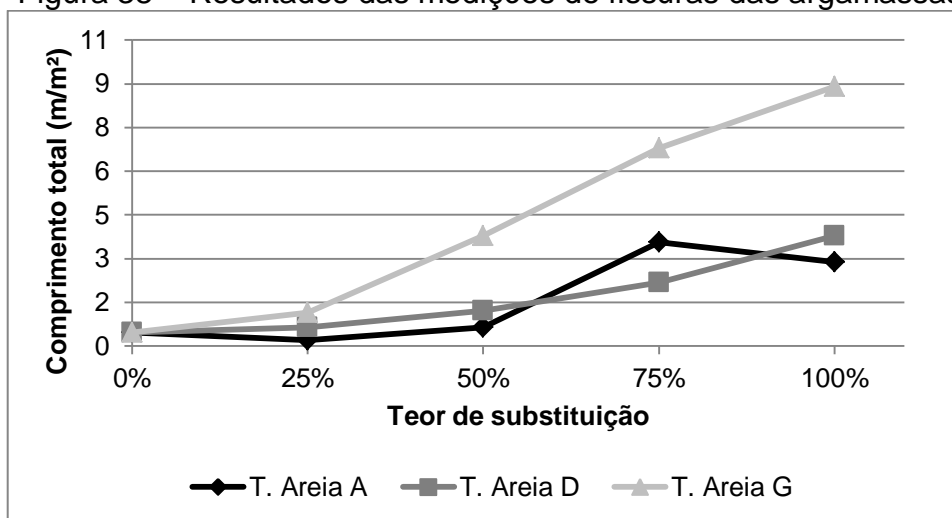
b)



Fonte: Elaborada pela autora

Observa-se nas Figura 36 (a, b) e 37 (a, b) muitas fissuras e essas com maiores espessuras. Na Figura 38 estão apresentados os resultados do somatório do comprimento linear por metro quadrado de todas as fissuras encontradas nos painéis argamassados com as areias de britagem A, D e G.

Figura 38 – Resultados das medições de fissuras das argamassas



Fonte: Elaborada pela autora.

Ao observar os resultados da Figura 38, nota-se uma maior quantidade de fissuras nas argamassas produzidas com areia de britagem G do que as argamassas com areia natural e areias britadas A e D. A incidência maior de fissuras encontradas nessas argamassas se deve ao fato de que elas apresentam maiores módulos de elasticidade. Isso também foi constatado por Silva (2006), Pedro (2011), Mattana *et al.* (2012) e Araujo (2014) em suas pesquisas. Os autores verificaram que quanto maior o módulo de elasticidade menor será a capacidade do revestimento de absorver as deformações, e por consequência maior surgimento de fissuras.

Paes *et. al* (1999) estudaram argamassas e verificaram que as preparadas com areias de maiores percentuais de finos ocasionaram maiores fissurações. Rosa (2013) também verificou em seu estudo com argamassas com areia de britagem e areia natural com adição de 30% e 20% de microfinos, respectivamente, e os resultados mostraram maiores retrações e maiores incidências de fissuras.

Pandolfo *et al.* (2005), Tristão *et al.* (2005), Sampaio e Bastos (2009) e Freitas *et al.* (2010) investigaram a influência das areias de britagem e constataram que o excesso de finos contidos nessas areias altera a trabalhabilidade da argamassa e promove a ocorrência de fissuras durante a secagem da mesma. Na Tabela 32 estão apresentadas as medições de espessuras realizadas através do fissurômetro de todas as argamassas fabricadas.

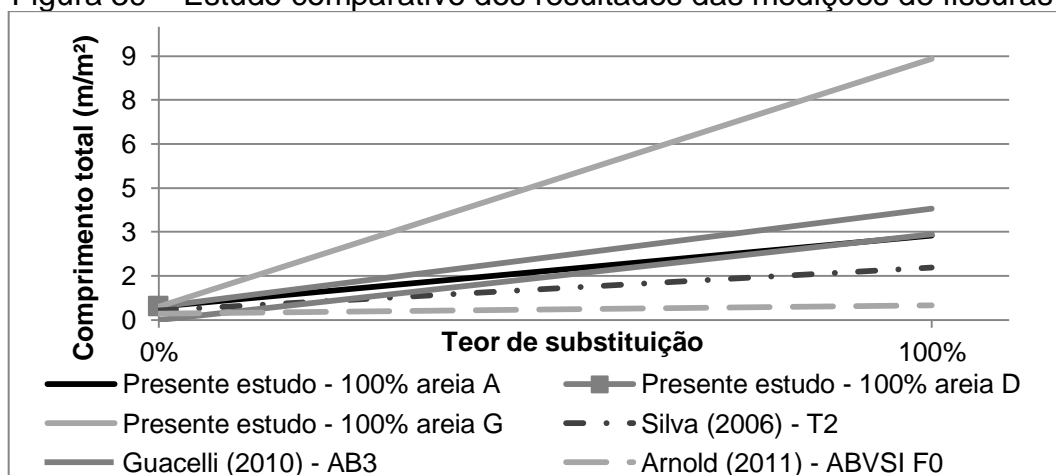
Tabela 32 – Medições de espessuras das fissuras

| Argamassa | Espessura das fissuras (mm) | |
|-----------|-----------------------------|-------|
| | Menor | Maior |
| T. Nat. | 0,05 | 0,30 |
| T. A25 | 0,05 | 0,10 |
| T. A50 | 0,05 | 0,30 |
| T. A75 | 0,05 | 0,80 |
| T. A100 | 0,05 | 1,50 |
| T. D25 | 0,05 | 0,30 |
| T. D50 | 0,05 | 0,60 |
| T. D75 | 0,05 | 0,90 |
| T. D100 | 0,05 | 1,10 |
| T. G25 | 0,05 | 0,50 |
| T. G50 | 0,05 | 0,90 |
| T. G75 | 0,10 | 1,00 |
| T. G100 | 0,10 | 1,30 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao analisar a Tabela 32 verifica-se que à medida que se aumenta o teor de areia de britagem nas argamassas ocorre um aumento nas espessuras das fissuras. Portanto, observam-se maiores espessuras de fissuras nas argamassas com percentuais de 100% de areias de britagem A, D e G. Essa ocorrência é devido à maior concentração de material pulverulento. A Figura 39 apresenta uma comparação dos resultados de medição de fissuras das argamassas com 100% de areias britadas A, D e G com os resultados obtidos por Silva (2006), Guacelli (2010) e Arnold (2011) que produziram argamassas com 100% de areia de britagem e com o mesmo traço utilizado nessa pesquisa.

Figura 39 – Estudo comparativo dos resultados das medições de fissuras



Fonte: Elaborada pela autora.

Ao observar os resultados da Figura 39 verifica-se que as argamassas confeccionadas com 100% de areia de britagem A obteve maiores quantidades de fissuras do que as outras argamassas. A quantidade de fissuras encontrada na argamassa com 100% de areia britada A obteve maior proximidade com as encontradas por Guacelli (2010) em seu estudo. A argamassa que menor fissuração foi à produzida por Arnold (2011) em sua pesquisa.

4.2 Discussão dos resultados

Para uma melhor discussão do comportamento das argamassas produzidas com as areias de britagem A, D e G, a Tabela 33 apresenta os resultados quanto às propriedades avaliadas nesse estudo em comparação com a argamassa com areia natural. Portanto, as setas posicionadas verticalmente e voltadas para cima indicam que as argamassas com areia britada obtiveram valores maiores do que a argamassa de referência. Já as setas posicionadas verticalmente e voltadas para baixo indicam que as argamassas com areia de britagem apresentaram valores menores do que a argamassa com areia natural. A cor preta demonstra que os agregados finos de britagem de rochas interferem nos resultados das propriedades estudadas e a cor cinza, não interferem.

Tabela 33 – Resultados dos ensaios realizados nesse estudo

| Resultados dos ensaios | Argamassas | | |
|---|------------|---------|---------|
| | Areia A | Areia D | Areia G |
| Trabalhabilidade | ↑ | ↑ | ↑ |
| Densidade de massa no estado fresco | ↑ | ↑ | ↓ |
| Teor de ar incorporado | ↓ | ↓ | ↓ |
| Retenção de água | ↓ | ↓ | ↓ |
| Densidade de massa no estado endurecido | ↑ | ↑ | ↓ |
| Módulo de elasticidade dinâmico | ↑ | ↑ | ↑ |
| Resistência à tração na flexão | ↑ | ↑ | ↑ |
| Resistência à compressão | ↑ | ↑ | ↑ |
| Resistência à aderência à tração | ↓ | ↑ | ↑ |
| Suscetíveis à fissuração | ↑ | ↑ | ↑ |

Fonte: Elaborada pela autora.

Na Tabela 33, é possível verificar que as argamassas com a inclusão de agregados miúdos de britagem obtiveram melhorias consideráveis nas propriedades estudadas, tais como uma elevada trabalhabilidade com um menor consumo de água, aumento de densidade de massa no estado fresco e endurecido, redução dos teores de ar incorporado e melhores resultados de resistências à tração na flexão e à compressão.

Contudo, o percentual de material pulverulento presente nos agregados miúdos de britagem interfere decisivamente nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido. Conforme Pandolfo *et al.* (2005), Tristão *et al.* (2005), Silva (2006), Sampaio e Bastos (2009), Guacelli (2010), Freitas (2010), Rosa (2013) os materiais pulverulentos interferem no aumento da compacidade do conjunto aglomerante e agregado, ou seja, no aumento da densidade de massa da argamassa e interfere também na redução do teor de água. Os autores ainda relatam que o consumo menor de água nas argamassas favorece ao aumento do módulo de elasticidade. Com isso, a velocidade de propagação da onda ultra-sônica é maior e, conseqüentemente, o tempo de propagação da onda é menor, aumentando, assim, o módulo de elasticidade e conseqüentemente o aparecimento maior de fissuração. Resultados estes, constatados nas argamassas com areias britadas.

Embora se tenha encontrados fatores negativos nas argamassas com areias britadas, esses fatores podem ser controlados de forma a permitir a produção dessas argamassas com baixos teores de concentração dessa areia.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as conclusões relativas aos ensaios das argamassas no estado fresco e no estado endurecido. Também são apresentadas as sugestões para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões dos resultados das propriedades no estado fresco

O aumento do percentual de areia de britagem para substituição da areia natural no preparo das argamassas reduziu a quantidade de água necessária para obtenção do índice de consistência fixado. As argamassas confeccionadas com areia de britagem apresentaram menores teores de ar aprisionado em comparação com a argamassa produzida com 100% de areia natural, possivelmente, em virtude de maior concentração de material pulverulento encontrados nas areias de britagem.

Os valores da densidade de massa da argamassa fresca tendem a crescer ou a diminuir de forma gradual, à medida que aumenta o teor de concentração de areia de britagem, devido às massas específicas apresentadas nas areias britadas em relação a areia natural.

Embora as argamassas produzidas com areia britada tenham apresentados valores menores de retenção de água do que na argamassa de referência, ainda assim essas argamassas obtiveram excelentes capacidades de retenção de água acima de 90% devido à presença da cal na sua composição.

5.2 Conclusões dos resultados das propriedades no estado endurecido

As argamassas com areia britada obtiveram bons resultados de densidade massa em relação à argamassa de referência devido ao elevado teor de materiais finos que contribuíram para o empacotamento dos seus grãos e para a obtenção de menores teores de ar aprisionado.

Os valores de resistências de tração na flexão, de compressão e de aderência à tração, apresentaram-se maiores em praticamente todas as argamassas confeccionadas com areia de britagem quando comparadas com a argamassa de referência, que utilizou 100% de areia natural. Esse fato é devido a areia de

britagem consumir menos água e apresentar maiores percentuais de finos, apesar de que a concentração de fração fina favorece para a ocorrência de fissuras.

As argamassas preparadas com areia britada obtiveram maiores valores de módulo de elasticidade dinâmico e maiores incidências de fissuras em comparação com a argamassa produzida com areia natural. Diversos fatores podem ter causado a fissuração no revestimento de argamassa com areia de britagem, como a proporção dos materiais constituintes da argamassa, o teor de água, o teor de fração fina, a forma dos grãos, o módulo de elasticidade, as condições climáticas, a execução dos revestimentos, dentre outros. Constatou-se, também, que quanto maior a concentração de areia de britagem nas argamassas produzidas maior a presença de fissuras nos painéis analisados.

5.3 Desempenho das argamassas com areias de britagem

As argamassas com areia de britagem apresentaram melhor desempenho no que se refere ao teor de água, resistências mecânicas e bons resultados de retenção de água e densidade de massa no estado fresco e endurecido, porém apresentaram baixo desempenho no que se refere à módulo de elasticidade dinâmico e a fissuração se comparados com argamassa com 100% de areia natural.

Os resultados da análise de variância ao nível de confiança de 95% demonstrou que os resultados das diversas propriedades estudadas nas argamassas no estado endurecido diferem significativamente. Com isso, conclui-se que é viável a substituição da areia natural pela areia de britagem para produção de argamassas sem comprometer o desempenho dos revestimentos, na proporção de 25% de areia de britagem e 75% de areia natural podendo a chegar a percentuais maiores de substituição desde que haja um controle dos materiais finos para amenizar a incidência de fissuras. São necessários pesquisas e conhecimento técnico para melhorar a granulometria e a forma dos grãos da areia de britagem de modo a viabilizar 100% da utilização da areia britada nas argamassas e consequentemente evitar a utilização da areia natural.

Atualmente, argamassa com areia proveniente de britagem de rocha, tanto para assentamento quanto para revestimento, é pouco utilizada no setor da construção na RMF, possivelmente devido a esse agregado não possuir uma granulometria adequada e por desconhecimento do desempenho desse material,

apesar de que as reservas de rochas ígneas são abundantes na RMF. A localização das mineradoras existentes na região é próxima ao centro consumidor e a utilização dos equipamentos adequados tenderá a diminuir o custo deste insumo.

A presente dissertação procurou estudar o desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de areia de britagem provenientes das pedreiras localizadas na RMF. Os resultados obtidos revelam um desempenho satisfatório por parte das argamassas modificadas e espera-se, com esta dissertação, ter contribuído para o aprofundamento do conhecimento das propriedades das argamassas com incorporação de agregados miúdos de britagem.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

O presente estudo experimental permitiu aprofundar o conhecimento sobre as propriedades de argamassas com incorporação de areia de britagem, em particular da RMF, em substituição do agregado miúdo natural, possibilitando assim a redução da exploração deste recurso natural. Porém, ao longo da realização deste estudo, bem como após uma análise dos resultados dos ensaios realizados, surgiram algumas pontos a merecer estudos futuros:

- avaliar a interferência da granulometria, forma e textura do agregado miúdo proveniente de britagem de rocha nas propriedades das argamassas produzidas;
- analisar a microestrutura das argamassas com incorporação de agregados miúdos de britagem;
- avaliar a contribuição para o isolamento térmico e acústico das argamassas com utilização de areia de britagem;
- estudar o comportamento de argamassas com incorporação de areia britada utilizando outros tipos de ligantes;
- avaliar a possibilidade de substituição da cal por aditivos plastificantes, incorporadores de ar e retentores de água na produção de argamassa com areia de britagem;
- aprofundar estudos para constatar a correlação entre módulo de elasticidade com resistências de tração na flexão, de compressão e de aderência à tração no intuito de aferir um controle para as incidências de fissuras em revestimentos de argamassa.

REFERÊNCIAS

- ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Guia prático de utilização do cimento Portland**. Boletim técnico. São Paulo: ASBP, 2002.
- ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimento de argamassa**. São Paulo: ASBP, 2003.
- AFRIDI, M. U. K.; CHAUDHARY, Z. U.; OHAMA, Y.; DEMURA, K.; IQBAL, M. Z. Strength and elastic properties of powdered and aqueous polymer-modified mortars. *Cement and concrete research*. v. 24, n. 7, p. 1199-1213, 1994.
- AHMED, A. A. M.; YUSUF, M. A. Using of stone powder as an alternative of sand. **Journal of Environmental Science and Technology**. V.5, N. 5, pp. 381-388, Mai. 2011.
- AHN, N. S. **An experimental study on the guidelines for using higher contents of aggregate micro fines in portland cement concrete**. Dissertation. The University of Texas at Austin, 2000.
- ALMEIDA, S. L. M.; SAMPAIO, J. A. Obtenção de areia artificial com base em finos de pedreiras. **Areia e Brita**. São Paulo, n. 20, p. 32-36, out./dez. 2002.
- ALMEIDA, S. L. M.; PEREIRA, A. F. R. Obtenção de areia artificial da pedreira Vigné. *In: Jornada de Iniciação Científica*, 12., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CETEM, 2004.
- ALMEIDA, S. L. M.; SILVA, V. S. Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados. *In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM*, 2., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 2005.
- ALMEIDA, S. L. M.; SANTOS, L. S. **Areia artificial para uso em construção civil**. Boletim Técnico. Ministério da Ciência e Tecnologia. Rio de Janeiro: CETEM, 2008.
- ALVES, N. J. **Avaliação dos aditivos incorporados de ar em argamassas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- ALVES, N. J. D.; Ó, S. W. Additives incorporators of air and water retainers. *In: BAUER E. (Org.). Coatings in mortars – Characteristics and peculiarities*. Brasília, LEM-UnB: SINDUSCON/DF; 2005. p. 30-37.
- ALVINO, F. C. G.; LOPES NETO, J. P.; OLIVEIRA, F. S. Avaliação de argamassas com incorporação de resíduos de britagem para construções rurais. **Ciências Agroveterinárias**. Lages-SC, v. 13, n. 1, p. 23-29, 2014.

AMBA, J. C.; BALAYSSAC, J. P.; DÉTRICHÉ, C. H. Characterization of differential shrinkage of bonded mortar overlays subjected to drying. **Materials and Structures**, 3 mar. 2009. V. 43, n.1-2, p. 297-308.

ANDRIOLO, F. R. Usos e abusos do pó de pedra em diversos tipos de concreto. In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 2005.

ANGELIM R. R., ANGELIM S. C. M., CARASEK, H. Influencia da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2003, p. 401-416.

ANNIBELLI, M. B.; SOUZA FILHO, C. F. M. Mineração de areia e seus impactos sócio-econômico-ambientais. In: CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI, 15., 2006, Manaus. **Resumos ...** Manaus: Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito, 2006, p. 4205-4217.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimento de argamassa.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia e Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

ARAÚJO, G. S. **Estudos de parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens.** 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

ARAÚJO, N. N. de. **Desempenho de argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados oriundos do resíduo de construção e demolição da grande Natal-RN.** 2014. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

ARNOLD, D. C. M.; KAZMIERCZAK, C. de S. Influência da distribuição granulométrica do agregado miúdo e do teor de fíler nas propriedades de argamassas com areia de britagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009.

ARNOLD, D. C. M. **Análise da influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas.** 2011. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23:** Cimento *Portland* e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 26:** Agregados – Amostragem. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 27:** Agregados – Redução da amostra de campo para ensaios de laboratório. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 30:** Agregado miúdo – Determinação da absorção de água. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 46:** Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR NM 52:** Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003

_____. **NBR 7200:** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 7211:** Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 7215:** Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **NBR 7389-1:** Agregados - Análise petrográfica de agregado para concreto Parte 1: Agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 9935:** Agregados – Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13278:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **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.

_____. **NBR 13280:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

_____. **NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15630:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Revestimentos de paredes e tetos em argamassas inorgânicas; especificação. Rio de Janeiro, 2008.

Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. **O Mercado de Agregados no Brasil.** São Paulo: ANEPAC, 2015. Disponível em: <http://www.anepac.org.br/agregados/mercado/item/8-mercado-de-agregados-no-brasil>. Acesso em: 10 jan. 2016.

BARBOSA, M. T. G.; COURA, C. V. G.; MENDES L. O. Estudo sobre a areia artificial em substituição à natural para confecção de concreto. **Ambiente Construído.** Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 51-60, out./dez. 2008.

BARBOSA, W. S. **Alteração do comportamento reológico da suspensão cimentícia aplicada sobre substratos porosos.** 2010. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento.** 2001. 172 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BASTOS, S. R. B. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para produção de concretos convencionais.** 2002. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BASTOS, P. K. X.; LEMONGE, A. C. C.; SIGILIANO, V. S.; RESENDE, S. C. Estudo do módulo de elasticidade de argamassas de revestimento sujeitas à sucção de água pela base. *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3., 2010, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 2010.

BAUER, E. (Org.). **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades.** Brasília, DF: SINDUSCON, 2005.

BAUER, E.; SOUSA, J. G. G. Materiais constituintes e suas funções. *In: REVESTIMENTO DE ARGAMASSA: CARACTERÍSTICAS E PECULIARIDADES*, 2005, Brasília. **Anais...** Brasília: UnB, Sinduscon, 2005.

BHAVIKATTI, S. S. **Basic Civil Engineering**. New Age International Publishers, New Delhi, 2010.

BESSA, I. S. **Avaliação do processamento digital de imagens como ferramenta para caracterização de agregados e misturas asfálticas**. 2012. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

BOUQUETY, M. N.; DESCANTES, Y.; BARCELO, L.; LARRARD, F.; CLAVAUD, B. Experimental study of crushed aggregate shape. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 4, p. 865-872, abr. 2007.

BRAGA, M.; de BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine concrete aggregates in mortars. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 960-968, ago. 2012.

BREA, F. M. Resistência de aderência e tempo em aberto de argamassas colantes com adição de éteres de celulose. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003.

BRIGGS, C.; EVERTSSON, C. M. Shape potencial of rock. **Minerals Engineering**, v. 11, n. 2, 1998.

BUEST NETO, G. T. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por agregados miúdos britados em concreto de cimento Portland**. 2006. 117 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal de Paraná, Curitiba, 2006.

BUSANELLO, G.; GARLET, G.; REGINATO, P. Uso da areia artificial oriunda de britagem de rochas na região de Caxias do Sul em substituição a areia natural para produção de concretos. *In: ENCONTRO DE JOVENS PESQUISADORES DA UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL*, 15., 2007, Caxias do Sul. **Caderno...** Caxias do Sul: UCS, 2007.

CABRAL, A. E. B. **Modelagem de propriedades mecânicas e da durabilidade de concretos produzidos com agregados reciclados, considerando-se a variabilidade da composição do RCD**. 2007. 280 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

CABRAL, K. O. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido**. 2007. 341 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

CANELLAS, S. S.; D'ABREU, J. C. Reciclagem de pet, visando a substituição de agregado miúdo em argamassa. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE*

MINÉRIOS E METALURGIA EXTRATIVA, 21., 2005, Natal. **Anais...** Natal, 2005. p. 299-304.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos: avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** 1996. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H.; DJANIKIAN, J. G. **Aderência de argamassas a base de cimento Portland a unidades de alvenaria.** *In:* BT/PCC/179: BOLETIM TÉCNICO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, EPUSP, 1997.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. B. Evolução da resistência de Aderência dos Revestimentos de Argamassa Mista. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: ANTAC, 1999. p. 503-515.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. B. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: ANTAC, 2001. p. 43-67.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo. IBRACON, 2007.

CARASEK, H. **Argamassas.** *In:* ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil.** 2 ed. v. 2. Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON. São Paulo. 2010.

CARBOMIL. **Ficha técnica da cal hidratada CH-I.** IT LAB 54 – 02. 2014.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Caracterização reológica de argamassas pelo método de squeeze-flow. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 121-143.

CARDOSO, F. A. Caracterização reológica de argamassas do mercado por squeeze-flow. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 7., Recife. **Anais...** Recife: ANTAC, 2007.

CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Aplicabilidade de argamassas de revestimento: avaliação empírica e comportamento reológico por squeeze-flow. *In:* CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3., 2010. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2010.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassa. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 37-44, jul./dez. 1997.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** 1999. 203 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. Dosagem de argamassas através de curvas granulométricas. *In: BT/PCC/237 – Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 1999.*

CARVALHO JUNIOR, A. N.; BRANDÃO, P. R. G.; FREITAS, J. M. C. Relação entre a resistência de aderência de revestimento de argamassa e o perfil de penetração de pasta de aglomerante nos poros do bloco cerâmico. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 518-529.*

CASALI, J. M.; WEIDMANN, D. F.; ANSELMO JR, A.; PRUDÊNCIO JR, L. R. Efeito da incorporação de ar nas propriedades de uma argamassa industrializada para assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003. p. 291-302.*

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; CARVALHO, A. Controle de argamassas industrializadas em obra por meio do método de penetração do cone. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 83-94.*

CASTRO, A. L.; PANDOLFELLI, V. C. Revisão: Conceitos de dispersão e empacotamento de partículas para a produção de concretos especiais aplicados na construção civil. **Cerâmica**, São Paulo, v. 55, n. 333, p. 18-32, jan./mar. 2009.

CAVACO, L.; VEIGA, M. R.; GOMES, A. Render application techniques for ancient buildings. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BUILDING PATHOLOGY, DURABILITY AND REHABILITATION, LNEC/CIB, 2., 2003, Lisboa. Anais... Lisboa, 2003. p. 567-576.*

CECHIN, L.; TOKARSHI, R. B.; TRENTO, T. P. W.; MATOSKI, A. Utilização da areia industrial em argamassas de revestimento. **Principia**, João Pessoa, n. 29, p.77-87, jun. 2016

CHAGAS, S. V. M. das. **Estudo e proposta de um modelo de resistência à fadiga de argamassas de revestimento em estado plano e tridimensional de tensões.** 2009. 172 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CHAVES, A. P. Estado da arte da produção de areia de britagem. *In: SUFFIB – SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2., 2005, São Paulo. Anais... São Paulo: EPUSP, 2005.*

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio**. Boletim Técnico. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, n. 68, 1995.

CINCOTTO, M. A.; CARNEIRO, A. M. P. **Discussão dos métodos de determinação da massa unitária da areia para argamassas**. Vitória, 1999.

CINCOTTO, M. A.; QUARCIONI, V. A.; JOHN, V. M. Cal na Construção Civil. *In*: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 1. p. 693-725.

COELHO, A.; BRITO, J.; Generation of construction and demolition waste in Portugal. **Waste Manage & Research**, v.29, n. 7, p. 739-750, 2011.

CONSOLI, O. J. **Análise da durabilidade dos componentes das fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. 2006. 204 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Desempenho de Sistemas Construtivos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

COSTA, H. N. **Caracterização de areias de britagem de pedreiras da região metropolitana de Fortaleza e avaliação da sua aplicação no concreto**. 2015. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

COSTA, M. R. M. M. **Análise comparativa de argamassas colantes de mercado através de parâmetros reológicos**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CRISTO, A. F. I.; PAULA, M. F.; ROSSATO, M. V.; PICCINI, Y. Parâmetros operacionais para implantação de uma recicladora de resíduos da construção civil. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GESTÃO DE PROJETOS, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE, 4., 2015, São Paulo. Anais... São Paulo, 2015.

CUCHIERATO, G.; SANT'AGOSTINHO, L. M. Pó de pedra: produção na região metropolitana de São Paulo (RMSP) e principais características. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 43., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: IBRACON, 2000.

CUCHIERATO, G.; SBRIGHI NETO, C.; QUITETE, E. B. A revisão das normas ABNT de agregados: NBR 7211 e NBR 9935 – Quais as alterações nas terminologias e especificações para os fins de pedreiras. *In*: Seminário: O uso a fração fina da britagem, 2., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2005.

DAVISON, J. I. **Masonry mortar**. National Research Council of Canada. Division of Building Research. 1974.

D'AGOSTINO, L. Z. **Uso de finos de pedra no processo de argamassas de assentamento**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Construção Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

DETRICHÉ, C. H.; MASO, J. C. Differential hydration in rendering mortars. **Cement and Concrete Research**. v. 16, p. 429-439, mar. 1986.

DUARTE, J. B. **Estudo da substituição de agregados miúdos naturais por pó de pedra em concreto em cimento *Portland***. 2013. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Agregados para a Construção Civil**. Sumário Mineral - 2009.

FARINHA, C., BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine sanitary ware aggregates in coating mortars. **Construction and Building Materials**, v. 83, p. 194-206, mar. 2015.

FREITAS, C. **Argamassas de revestimento com agregados miúdos de britagem da região metropolitana de Curitiba: propriedades no estado fresco e endurecido**. 2010. 135 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

FREITAS, C.; Costa, M. R. M. M. Estudo da influência da distribuição granulométrica no desempenho de argamassas com areia britada. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela-RS. **Anais...** Canela-RS: ANTAC, 2010.

FREITAS, J. M. C. **Influência da variação dos constituintes no desempenho de argamassa de revestimento**. 2007. 165 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – Estudo de caso**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

GONÇALVES, J. P. **Desenvolvimento e caracterização de concretos de baixo impacto ambiental contendo argila calcinada e areia artificial**. 2005. 273 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

GONÇALVES, J. P.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R. TAVARES, L. M. M. Comportamento de argamassas contendo areia de britagem. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 7., 2007, Recife. **Anais...** Recife: ANTAC, 2007.

GRIGOLI, A. S. Management in the production and utilizations of the waste material in the construction site. *In*: CIB Symposium in construction and environment: Theory into Practice, 2000, São Paulo, Brazil. Proceedings. São Paulo: CIB, 2000. 11p;

GUACELLI, P. A. G. **Substituição da areia natural por areia de britagem de rochas balsáticas para argamassas de revestimento**. 2010. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2009.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal: Fundamentos e aplicações na engenharia civil**. 2.ed. Pini: São Paulo, 2002.

GROOT, C. J. W. P. Aspect of mortar – brick on. *In: International Brickland Block Masonry Conference*, 8th, Dublin, 1988. Proceedings. **Elsevier**, v. 1, p. 175-181, 1988.

HAQUE, M.; RAY, S.; MAHZUZ, H. M. A. Use of Stone Powder with Sand in Concrete and Mortar: A Waste Utilization Approach. **ARN Journal of Science and Technology**, v. 2, n. 7, p. 613-618, ago. 2012.

HEINECK, S. **Desempenho de argamassas de revestimentos com incorporação de agregados reciclados de concreto**. 2012. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo-RS, 2012.

HENDRICKX, R. **The adequate measurement of the workability of masonry mortar**. PhD Dissertation in civil engineering, Arenberg Doctoral School of Science, Engineering and Technology, Heverlee, Belgium, 2009.

HOQUE, T.; RASHID, M. H.; HASAN, MD. R.; MONDOL, E. F. Influence of stone dust as partially replacing material of cement and sand on some mechanical properties of mortar. **Advanced Structures and Geotechnical Engineering**, v. 2, n. 2, p. 54-57, abr. 2013

IOPPI, P. R.; PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R.; IRIYAMA, W. J. Estudo da absorção inicial de substratos de concreto: Metodologia de ensaios e influência na aderência das argamassas de revestimento. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 1995. p. 93-104.

ISHIKAWA, P. H. Argamassa para revestimento de alvenaria com areia artificial. *Boletim Técnico da FATEC-SP – BT/26*, p. 22-27, mai. 2009

JOCHEM, L. F. **Estudo das argamassas de revestimento com agregados reciclados de RCD: características físicas e propriedades da microestrutura**. 2012. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

KAZMIERCZAK, C. S.; ROSA, M.; ARNOLD, D. C. M. Influência da adição de filer de areia de britagem nas propriedades de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 7-19, abr./jun. 2016.

KLEIN, N. S. **Influência da substituição da areia natural pela areia de britagem no comportamento do concreto auto-adensável**. 2008. 165 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2008.

KLEIN, N. S.; CARBONARI, B. T.; GUIZILINI, R. P. Estudo do agregado miúdo para produção de concreto auto-adensável: substituição da areia natural por areia de britagem. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 2008.

KRUGER, F. R., OLIVEIRA, D. L. A., BRAGA, S. R. O. Q. **Incorporação de vidro plano moído em substituição ao cimento e ao agregado miúdo (areia) em argamassas de concreto.** *In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, 31., 2008, Águas de Lindóia-SP.

LANAS, J.; ALVAREZ, J. I. **Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior.** Pamplona: University Navarras, 2002.

LANAS, J.; ALVAREZ, J. I. Masonry repair lime-based mortars: factors affecting the mechanical behavior. **Cement and Concrete Research**, 34, 2191-2201, 2003.

LEAL, F. E. C. B. **Estudo do desempenho do chapisco como procedimento de preparação de base em sistemas de revestimento.** 2003. 109 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

LELLES, L. C.; SILVA, E.; GRIFFITH, J. J.; MARTINS, S. V. Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p. 439-444, 2005.

LI, L.; CHAN, P. ZOLLINGER, D. G.; LYTTON, R. L. Quantitative Analysis of Aggregate Shape Based of Fractals. **ACI Materials Journal**, v. 90, n. 4, p. 357-265, jul./ago. 1993.

LODI, V. H. **Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento *Portland* na região de Chapecó – SC.** 2006. 131 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Desempenho de Sistemas Construtivos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

LODI, V. H.; PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. Viabilidade técnica e econômica do uso de areia de britagem em concretos de cimento *Portland* na região de Chapecó – SC, *In: Workshop Desempenho de Sistemas Construtivos*, Unochapecó, Chapecó-SC, nov. 2006.

LOHANI, T. K.; PADHI, M.; DASH, K. P.; JENA, S. Optimum utilization of quarry dust as partial replacement of sand in concrete. **Internacional Journal of Applied Sciences and Engineering Research**, v. 1, n. 2, p. 391-404, apr. 2012.

LOPES, L. S. **Caracterização de areia artificial proveniente de resíduos da britagem de rochas magmáticas da região de Erechim.** 2002. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2002.

LUÍS, W. R. da C. **Estudo do desempenho, a curto e longo prazo, da incorporação de resíduos industriais nas composições de argamassa e betões de base cimentícia.** 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, Instituto Politécnico de Setúbal, Portugal, 2013.

LUZ, A. B.; ALMEIDA, S. L. M. **Manual de Agregados para a Construção Civil.** Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. 2ª edição Rio de Janeiro, 2012.

MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B; SABBATINI, F. H. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos.** São Paulo, 1998.

MAHZUZ, H. M. A.; AHMED, A. A. M.; YUSUF, M. A. Use of stone powder in concrete and mortar as an alternative of sand. **Journal of Environmental Science and Technology**, African, v. 5, n. 5, p. 381-388, may. 2011.

MARGALHA, G.; VEIGA, M. R.; BRITO, J. Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea. Actas do 2º Congresso Nacional de Argamassas da Construção, Lisboa, APFA, 2007.

MARGALHA, M. G.; VEIGA, M. R.; VELOSA, A. L. The maturation time factor on the lime putty quality. In: 7th International Brick masonry Conference. 2007.

MARTINS, J. G.; ASSUNÇÃO, J. **Argamassas e Rebocos.** 3º ed. UFP, 2010.

MASUERO, A. B.; SLOTZ, C. M.; ANTUNES, G. R. Análise da influência do equipamento utilizado no ensaio de resistência de aderência à tração. In: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS, 4., 2012, Lisboa. **Anais...** Lisboa: APFAC, 2012.

MATTANA, Alécio Junior. **Estudos de cales hidratadas de mercado: caracterização química, física e comportamento reológico da pasta.** 2013. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

MATTOS, L. R. S. **Identificação e caracterização das argamassas para revestimento externo utilizadas na cidade de Belém-PA.** 2001. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

MCGEARY, R. K. Mechanical packing of spherical particles. **Journal of the American Ceramic Society.** v. 44, n. 10, p. 513-522, out. 1961.

MELO, F. C. A. C. **Análise de argamassas com substituição parcial do cimento portland por cinza residual de lenha de algaroba.** 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

MELO, K. A.; ANDRADE, A. F. L.; LIRA, E. M. A influencia do teor de cal hidratada nas propriedades de argamassas de cimento, cal e areia. *In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO*, 2., 2007, Lisboa.

MELLO, A. L.; **Utilização de resíduos de PEAD como alternativa aos agregados naturais em argamassa**. 2011. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: microstructure, properties and materials**, Third Edition, McGraw-Hill, 2006.

MENOSSEI, R. T. **Utilização do pó de pedra balsática em substituição à areia natural do concreto**. 2004. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira-SP, 2004.

MIRANDA, L. F. R., SELMO, S. M. S. **Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem**. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: UFES PPGE, 1999. p. 295-307.

MIRANDA, L. F. R., SELMO, S. M. S. **Desempenho de revestimentos de argamassa com entulho reciclado**. *In: BT/PCC/277 – Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo*, 2001.

MIRANDA, L. F. R., SELMO, S. M. S. **CDW recycled aggregate rendering: Part 1 – analysis of the effect of Materials finer than 75 µm on mortar**. *In: Construction and Building Materials*, 20, p. 615-624, 2006.

MONTE, R.; SILVA, A. C. M. A.; FIGUEIREDO, A. D. Avaliação da influência do teor de ar no módulo de elasticidade de argamassas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, 7., 2007, Recife. **Anais...** Recife: ANTAC, 2007.

MORAES, C. A. M., KIELING, A. G.; CAETANO, M. O.; GOMES, L. P. Life cycle analysis (LCA) for the incorporation of rice husk ash in mortar coating. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, p. 1170-1176, mar. 2010.

MORAIS, Tiago Alves. **Estudo do uso do agregado miúdo reciclado de concreto na produção de argamassa para revestimento vertical**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MORALES, B. R. S. C. ; TRISTÃO, F. A . Estudo das Cales para a Construção Civil no Estado do Espírito Santo. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE ARGAMASSAS*, 9., 2011, Belo Horizonte- MG. **Anais...** Belo Horizonte- MG, 2011. v. 1.

MORALES, B. R. S. C. **Avaliação da influência das frações de agregado reciclado nas propriedades das argamassas de revestimento.** 2015. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

MOURA, C. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substrates de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco.** 2007. 230 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

NAGABHUSHANA.; BAI, H. S.; Use of crushed rock powder as replacement of fine aggregate in mortar and concrete. **Journal of Science and Technology**, Indian, v. 4, n. 8, p. 917-922, aug. 2011.

NAKAKURA, E. H.; CINCOTTO, M. A. **Análise dos requisitos de classificação de argamassas de assentamento e revestimento.** In: BT/PCC/359 – Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção, São Paulo, 2004.

NENO, C. J. F. **Desempenho de argamassas com incorporação de agregados finos provenientes da trituração do betão.** 2010. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

NETO, C. S. A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos. **Areia e Brita.** São Paulo, n. 12, p. 26-28, 1999.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** 1 ed. São Paulo: Pini, 1982. 828p.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo: Pini, 1997.

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílicocalcária.** São Paulo. 1984. 298 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

NIEBEL, P. R.; CAMPTTELI, V. C. Avaliação no desempenho no estado fresco de argamassas com agregados miúdos britado utilizando curvas granulométricas parabólicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: STBA, 2009.

NUNES JUNIOR, J. J.; PELISSER, F. Efeito do pó de pedra em argamassa para alvenaria estrutural. In: **Congresso Ibero-Americano de Humanidades, Ciências e Educação** – Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC, Criciúma-SC, 2013

OLIVEIRA, R.; BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporação de agregados finos de vidro em argamassas. **Teoria e Prática na Engenharia Civil.** Rio Grande do Sul, n. 21, p. 25-39, mai. 2013.

OHAMA, Y. Polymer-based admixtures. **Cement and Concrete Composites**, v. 20, n.2/3, p. 189-212, 1998.

OHASHI, T. Maior planta de areia de britagem no Brasil. *In*: SEMINÁRIO: O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM, 2., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 2005.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. 2004. 242 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PAGNUSSAT, D. T.; PAULETTI, C.; POSSERT, N. D.; MASUERO, A. B. Avaliação das manifestações patológicas em fachadas de prédio histórico na cidade de Porto Alegre. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. p. 3965-3974.

PALANIRAJ S. **Manufactured sand**. International Conference on Recent Trends in Concrete Technology and Structures, (INCONTEST), Coimbatore. 2003.

PANDOLFO, L. M.; MASUERO, A. B. Propriedades das argamassas de revestimento produzidas com areia natural e areia de basalto. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis e INTERNACIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. p. 53 -58.

PEDRO, D. A. G. **Desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de materiais finos provenientes da trituração de pneus**. 2011. 165 f. Dissertação (Mestrado em Construção) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

PEDRO, D.; BRITO, J.; VEIGA, R. Mortars Made with Fine Granulate from Shredded Tires. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 25, p. 519-529, abr. 2013.

PENACHO, P.; de BRITO, J.; VEIGA, M.R. Physico-mechanical and performance characterization of mortars incorporating fine glass waste aggregate. **Cement & Concrete Composites**, v. 50, p. 47-59, 2014.

POLITO, G.; CARVALHO JR, A. N.; BRANDÃO, P. R. G. Caracterização microestrutural da interface argamassa mista/bloco cerâmico. **Construindo**, v. 2, n. 2, p. 11-17, jul./dez. 2010.

QUARCIONI, V. A.; CINCOTTO, M. A. Influência da cal em propriedades mecânicas de argamassas. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANATC, 2005. p. 233-250.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **A reologia da pasta de cimento e a influência da cal.** In: **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas.** Goiânia, 1995. Artigo técnico. 1º ed.

RAGO, F.; CINCOTTO, M. A. **Influência do tipo de cal hidratada na reologia de pastas.** 1999. 24f. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo: EPUSP, BT/PCC/257, 1999.

RATO, Vasco N. P. M. **Influência da Microestrutura Morfológica no Comportamento de Argamassas.** 2006. 314 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

RECENA, F. A. P. **Conhecendo a argamassa.** 2º ed. Porto Alegre: Editora Universitária Pucrs, 2012. 188p.

RIBEIRO, B. C. Utilização da areia artificial (areia de brita) no preparo do concreto. 2010. Relatório – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2010.

RODRIGUES, M. P. S. F. F. **Argamassas de revestimento para alvenarias antigas – Contribuição para o estudo da influencia dos ligantes.** 2004. 521 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2004.

ROMANO, R. C. 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.

ROMANO, R. C. O.; SCHREURS, H.; SILVA, F. B.; CARDOSO, F. A.; BARROS, M. M. S. B.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Sensibilidade de Argamassas de Revestimento ao Procedimento de Mistura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009. p. 1-16.

ROMANO, R. C. O.; TORRES, D. R.; PILEGGI, R. G. Impacto f aggregate grading and air-entrainment on the properties of fresh and hardened mortars. **Construction and Building Materials**, v. 82, p. 219-226, mar. 2015.

ROSA, M. **Análise do efeito do teor de microfinos nas propriedades das argamassas de revestimento com utilização de areia de britagem basáltica.** 2013. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo-RS, 2013.

RUSSO, M. L. C. **Reciclagem de resíduo gerado na extração de quartzito.** 2011. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2011.

RUDUIT, F. R. **Contribuição ao estudo da aderência de revestimentos de argamassa e chapiscos em substrato de concreto**. 2009. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SABBATINI, F. H. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. São Paulo: Epusp, 1986. 26p

SABBATINI, F. H. Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria resistente. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Construção Civil, **Boletim técnico**, São Paulo, v. 2, 1994.

SAMPAIO, R. G., BASTOS, P. K. X. Estudo da granulometria de areia de britagem para argamassas de revestimento. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009. p. 52-53.

SANTOS, A. N. **Diagnóstico da situação dos resíduos de construção e demolição (RCD) no município de Petrolina (PE)**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2008.

SANTOS, M. L. L. O. **Aproveitamento de resíduos minerais na formulação de argamassas para a construção civil**. 2008. 163 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Centro de Ciência Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SANTOS, R. A.; LIRA, B. B.; RIBEIRO, A. C. M. Argamassa com substituição de agregado natural por resíduo de britagem de granito. **Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Bahia, v. 8, p. 1818-1828, set./dez. 2012.

SBRIGHI NETO, C. Agregados naturais, britados e artificiais para concreto. In ISAIA, G.C. Concreto: Ciência e tecnologia, v.I-II. São Paulo, INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO, IBRACON, 2011

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassa de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachadas dos edifícios**. 1989. 202 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

SENN, L. et al. Mortar composition defined according to rheometer and flow table tests using factorial designed experiments. **Construction and Building Materials**, n. 23, p. 3107-3111, 2009

SHARMIN, R.; AHMED M.; AHMED M.; LUBNA, F. A. Comparison of Strength Performance of Concrete with Uncrushed or Crushed Coarse aggregates. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 1, n. 2, p. 1-4, ago. 2006.

SILVA, A. M.; BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine plastic aggregates in rendering mortars. **Construction and Building Materials**, v. 71, p. 226-236, set. 2014.

SILVA, C. M.; FLORES-COLEN, I.; GASPAR, S. Numerical analysis of renders' adhesion using na interface model. **Construction and Building Materials**, v. 38, n. 2013, p. 292-305, jan. 2013.

SILVA, F. B.; BARROS, M. S. B; MONTE, R. Módulo de deformação de argamassas: avaliação dos métodos de ensaio e principais fatores intervenientes. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2009.

SILVA J.; BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine ceramics in mortars. **Construction and Building Materials**. V. 23, p. 556-564, Jan. 2009.

SILVA, N. G.; BUEST, G.; CAMPITELI, V. C. Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA EM ARGAMASSAS. 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, N. G. **Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SILVA, N. G.; BUEST, G. T.; CAMPITELI, V. C. Argamassas com areia britada: influência dos finos e da forma das partículas. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBTA, 2005. p.12-22.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Influencia dos finos e da cal nas propriedades das argamassas. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006, p. 4349-4358.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Módulo de elasticidade dinâmico de argamassa de revestimento. *In*: ENCONTRO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS CAMPOS GERAIS, 2., 2006, Ponta Grossa-PR. **Anais...** Ponta Grossa-PR, 2006.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C.; GLEIZE, P. J. P. Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia de britagem de rocha calcária. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 7., 2007, Recife. **Anais...** Recife: ANTAC, 2007.

SILVA, N.G., CAMPITELI, V. C. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassa de cimento, cal e areia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 21-35, out./dez. 2008.

SILVA, F. B.; BARROS, M. M. B. de; MONTE, R. Módulo de deformação de argamassas: avaliação dos métodos e principais fatores intervenientes. *In*: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. **Anais...** Curitiba, 2009, p. 1-12.

SILVA, N. G.; COLLODETTI, G.; PICHETTI, D. Z. C. M.; GLEIZE, P. J. P. Efeitos do ar incorporado nas propriedades do estado endurecido em argamassas de cimento e

areia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 51., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: IBRACON, 2009.

SILVA, N. G.; GLEIZE, J. P.; GOMES, L. A. Metodologia para avaliação da fissuração em revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009.

SOUZA, C. A. **Utilização de resíduo de concreto como agregado miúdo para argamassa de concretos estruturais convencionais.** 2006. 96 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

SOUSA, G. G. J. **Contribuição ao estudo das propriedades das argamassas de revestimento no estado fresco.** 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

STOLZ, C. M. **Influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de concreto de substrato na aderência de argamassas de revestimento.** 2011. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 1973

SUPEKAR, V. R.; KUMBHAR, P. D. Properties of concrete by replacement of natural sand with artificial sand. **International Journal of Engineering Research & Technology**, Fayoum City, v. 1, n. 7, 2012.

TONSO, S. **As pedreiras no espaço urbano: perspectivas construtivas.** 1994. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

THURLER, C. L., FERREIRA, V. A. A evolução da Resistencia de aderência de algumas argamassas colantes nacionas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1995. p

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** 1995. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

TRISTÃO, F. A. **Influência dos parâmetros texturais das areias nas propriedades das argamassas mistas de revestimento.** 2005. 228 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico,, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R.; VALDAMERI, C. Z.; MESACASA, C. Uso de areia industrial de basalto em argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis e INTERNACIONAL

SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 1., 2005, Florionópolis. **Anais...** Florionópolis: Antac, 2005. p. 59-64.

VARGAS, J. L.; COMBA, G. J. M. Estudio teórico y experimental sobre los morteros para muros resistentes de fábrica de ladrillo para la actualización de la norma básica MV 201-1972. 1ª Parte: Memorial del Estudio. **Materiales de Construcción**, v. 34, n. 196, 1984.

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes – contribuição para estudo da sua resistência à fendilhação**. 1997. 522f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 1997.

VIERO, E. H. **Aplicação de areia de britagem de rochas basálticas na fabricação de concreto de cimento Portland**. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Centro de Ciências Exatas e da Tecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul-RS, 2010.

VOTORANTIM CIMENTOS. **Boletim de ensaios de cimento**. Sobral, 2015.

WESTERHOLM, M.; LAGERBLAD, B.; SILWEBRAND, J.; FORSSBERG, E. Influence of fine aggregate characteristics on the rheological properties of mortars. **Cement and Concrete Composites**, v. 30, n. 4, p. 274-282, abr. 2008.

13-MR COMMITTEE ON MORTARS AND RENDERING/RILEM. *In*: Materials and Structures, septembre-octobre, vol. 15, issue 5, p. 475-519, 1982.

APÊNDICE A – RESULTADOS BRUTOS DO CONSUMO DE ÁGUA DAS ARGAMASSAS

A Tabela A1 apresenta as quantidades de materiais para a produção de argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G assim como o índice de consistência.

Tabela A1 – Quantidade de materiais para a produção de argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Argamassa | Massa (kg) | | | | | | Índice de consistência (mm) |
|-----------|------------|-------|---------------|-------------------|--------|--------|-----------------------------|
| | Cimento | Cal | Areia natural | Areia de britagem | Água | Total | |
| T. Nat. | 6,756 | 2,702 | 48,470 | - | 10,945 | 68,874 | 235 |
| T. A25 | 6,756 | 2,702 | 36,353 | 12,911 | 10,877 | 69,599 | 251 |
| T. A50 | 6,756 | 2,702 | 24,235 | 25,821 | 10,810 | 70,324 | 255 |
| T. A75 | 6,756 | 2,702 | 12,118 | 38,732 | 10,810 | 71,117 | 253 |
| T. A100 | 6,756 | 2,702 | - | 51,642 | 11,080 | 72,181 | 255 |
| T. D25 | 6,756 | 2,702 | 36,353 | 12,185 | 10,742 | 68,739 | 235 |
| T. D50 | 6,756 | 2,702 | 24,235 | 24,371 | 10,404 | 68,468 | 235 |
| T. D75 | 6,756 | 2,702 | 12,118 | 36,556 | 10,404 | 68,536 | 240 |
| T. D100 | 6,756 | 2,702 | - | 48,741 | 10,607 | 68,807 | 245 |
| T. G25 | 6,756 | 2,702 | 36,353 | 11,769 | 10,472 | 68,052 | 235 |
| T. G50 | 6,756 | 2,702 | 24,235 | 23,539 | 10,337 | 67,569 | 242 |
| T. G75 | 6,756 | 2,702 | 12,118 | 35,308 | 10,269 | 67,153 | 244 |
| T. G100 | 6,756 | 2,702 | - | 47,078 | 10,337 | 66,873 | 245 |

Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE B – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DO ENSAIO DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO FRESCO DAS ARGAMASSAS

A Tabela B1 apresenta os resultados do ensaio de densidade de massa no estado fresco das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G.

Tabela B1 – Resultados de densidade de massa no estado fresco das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Argamassa | Amostra | Massa total (g) | Volume (cm ³) | Massa específica (kg/m ³) | Massa específica média (kg/m ³) |
|-----------|---------|-----------------|---------------------------|---------------------------------------|---|
| T. Nat. | 1 | 929,5 | 494,0 | 1882 | 1886 |
| | 2 | 933,4 | | 1889 | |
| T. A25 | 1 | 960,5 | 494,0 | 1944 | 1946 |
| | 2 | 961,8 | | 1947 | |
| T. A50 | 1 | 967,4 | 494,0 | 1958 | 1966 |
| | 2 | 975,5 | | 1975 | |
| T. A75 | 1 | 976,9 | 494,0 | 1978 | 1981 |
| | 2 | 980,3 | | 1984 | |
| T. A100 | 1 | 984,4 | 494,0 | 1993 | 1999 |
| | 2 | 990,7 | | 2005 | |
| T. D25 | 1 | 943,3 | 494,0 | 1910 | 1906 |
| | 2 | 939,8 | | 1902 | |
| T. D50 | 1 | 949,3 | 494,0 | 1922 | 1921 |
| | 2 | 948,7 | | 1920 | |
| T. D75 | 1 | 958,3 | 494,0 | 1940 | 1936 |
| | 2 | 954,9 | | 1933 | |
| T. D100 | 1 | 962,9 | 494,0 | 1949 | 1945 |
| | 2 | 959,1 | | 1941 | |
| T. G25 | 1 | 940,9 | 494,0 | 1905 | 1901 |
| | 2 | 937,7 | | 1898 | |
| T. G50 | 1 | 938,1 | 494,0 | 1899 | 1893 |
| | 2 | 932,6 | | 1888 | |
| T. G75 | 1 | 930,4 | 494,0 | 1883 | 1880 |
| | 2 | 926,7 | | 1876 | |
| T. G100 | 1 | 922,8 | 494,0 | 1868 | 1864 |
| | 2 | 919,3 | | 1861 | |

Fonte: Elaborada pela autora.

As Tabelas B2, B3 e B4 apresentam as análises de variância dos resultados de densidade de massa no estado fresco para as argamassas confeccionadas com areias britadas A, D e G, respectivamente.

Tabela B2 – Análise de variância de densidade de massa no estado fresco das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 3077 | 3 | 1025,67 | 17,166 | 0,0095 | 6,5914 | S |
| Erro | 239 | 4 | 59,75 | | | | |
| Total | 3316 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela B3 – Análise de variância de densidade de massa no estado fresco das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|---------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 1782,4 | 3 | 594,1 | 26,26 | 0,00431 | 6,5914 | S |
| Erro | 90,5 | 4 | 22,6 | | | | |
| Total | 1872,9 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela B4 – Análise de variância de densidade de massa no estado fresco das argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|---------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 1589,5 | 3 | 529,8 | 15,82 | 0,01104 | 6,5914 | S |
| Erro | 134 | 4 | 33,5 | | | | |
| Total | 1723,5 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

APÊNDICE C – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DOS TEORES DE AR INCORPORADO DAS ARGAMASSAS

A Tabela C1Tabela apresenta os resultados do ensaio de teor de ar incorporado das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G.

Tabela C1 – Resultados do teor de ar incorporado das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Argamassa | Amostra | Densidade de massa (g/cm ³) | Densidade de massa teórica (g/cm ³) | Teor de ar incorporado (%) | Teor de ar incorporado média (%) |
|-----------|---------|---|---|----------------------------|----------------------------------|
| T. Nat. | 1 | 1,882 | 2,042 | 8 | 8 |
| | 2 | 1,889 | 2,038 | 8 | |
| T. A25 | 1 | 1,944 | 2,067 | 6 | 6 |
| | 2 | 1,947 | 2,070 | 6 | |
| T. A50 | 1 | 1,958 | 2,093 | 7 | 7 |
| | 2 | 1,975 | 2,098 | 6 | |
| T. A75 | 1 | 1,978 | 2,117 | 7 | 7 |
| | 2 | 1,984 | 2,119 | 7 | |
| T. A100 | 1 | 1,993 | 2,131 | 7 | 7 |
| | 2 | 2,005 | 2,136 | 7 | |
| T. D25 | 1 | 1,910 | 2,050 | 7 | 8 |
| | 2 | 1,902 | 2,046 | 8 | |
| T. D50 | 1 | 1,922 | 2,063 | 7 | 7 |
| | 2 | 1,920 | 2,059 | 7 | |
| T. D75 | 1 | 1,940 | 2,065 | 6 | 7 |
| | 2 | 1,933 | 2,063 | 7 | |
| T. D100 | 1 | 1,949 | 2,061 | 6 | 6 |
| | 2 | 1,941 | 2,058 | 6 | |
| T. G25 | 1 | 1,905 | 2,046 | 7 | 8 |
| | 2 | 1,898 | 2,042 | 8 | |
| T. G50 | 1 | 1,899 | 2,040 | 7 | 8 |
| | 2 | 1,888 | 2,038 | 8 | |
| T. G75 | 1 | 1,883 | 2,032 | 8 | 8 |
| | 2 | 1,876 | 2,029 | 8 | |
| T. G100 | 1 | 1,868 | 2,019 | 8 | 8 |
| | 2 | 1,861 | 2,017 | 8 | |

Fonte: Elaborada pela autora.

As Tabelas C2, C3 e C4 apresentam as análises de variância dos resultados do teor de ar incorporado para as argamassas preparadas com areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela C2 – Análise de variância de teor de ar incorporado das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 0,46 | 3 | 0,15 | 1,135 | 0,43568 | 6,5914 | NS |
| Erro | 0,55 | 4 | 0,14 | | | | |
| Total | 1,00 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela C3 – Análise de variância de teor de ar incorporado das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 3,60 | 3 | 1,20 | 41,783 | 0,00177 | 6,5914 | S |
| Erro | 0,12 | 4 | 0,03 | | | | |
| Total | 3,72 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela C4 – Análise de variância de teor de ar incorporado das argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 0,61 | 3 | 0,20 | 2,598 | 0,18949 | 6,5914 | NS |
| Erro | 0,32 | 4 | 0,08 | | | | |
| Total | 0,93 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

APÊNDICE D – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE RETENÇÃO DE ÁGUA DAS ARGAMASSAS

A Tabela D1 Tabela apresenta os resultados do ensaio de retenção de água das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G.

Tabela D1 – Resultados de retenção de água das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Argamassa | AF | Mcv (g) | Mca (g) | Mcs (g) | Retenção de água (%) | Retenção de água média (%) |
|-----------|------|---------|---------|---------|----------------------|----------------------------|
| T Nat. | 0,16 | 1114 | 2359 | 2348 | 94 | 95 |
| | 0,16 | 1116 | 2365 | 2357 | 96 | |
| T. A25 | 0,16 | 1118 | 2357 | 2341 | 92 | 92 |
| | 0,16 | 1116 | 2351 | 2336 | 92 | |
| T. A50 | 0,15 | 1118 | 2386 | 2369 | 91 | 91 |
| | 0,15 | 1117 | 2379 | 2362 | 91 | |
| T. A75 | 0,15 | 1114 | 2438 | 2421 | 92 | 92 |
| | 0,15 | 1116 | 2431 | 2414 | 91 | |
| T. A100 | 0,15 | 1119 | 2434 | 2417 | 92 | 92 |
| | 0,15 | 1116 | 2433 | 2416 | 92 | |
| T. D25 | 0,16 | 1114 | 2359 | 2347 | 94 | 94 |
| | 0,16 | 1115 | 2363 | 2352 | 94 | |
| T. D50 | 0,15 | 1116 | 2333 | 2321 | 94 | 94 |
| | 0,15 | 1117 | 2365 | 2353 | 94 | |
| T. D75 | 0,15 | 1116 | 2424 | 2410 | 93 | 93 |
| | 0,15 | 1116 | 2435 | 2422 | 94 | |
| T. D100 | 0,15 | 1115 | 2417 | 2403 | 93 | 93 |
| | 0,15 | 1116 | 2437 | 2423 | 93 | |
| T. G25 | 0,15 | 1114 | 2352 | 2340 | 94 | 94 |
| | 0,16 | 1117 | 2359 | 2348 | 94 | |
| T. G50 | 0,15 | 1119 | 2364 | 2352 | 94 | 94 |
| | 0,15 | 1118 | 2367 | 2355 | 94 | |
| T. G75 | 0,15 | 1118 | 2396 | 2381 | 92 | 93 |
| | 0,15 | 1117 | 2404 | 2391 | 93 | |
| T. G100 | 0,15 | 1118 | 2344 | 2336 | 96 | 95 |
| | 0,16 | 1116 | 2399 | 2387 | 94 | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: AF – Relação água/argamassa fresca; Mcv – Massa do conjunto (funil e filtro) vazio; Mca – Massa do conjunto (funil e filtro) com argamassa; Mcs – Massa do conjunto com argamassa após a sucção de 15 minutos.

As Tabelas D2, D3 e D4 apresentam as análises de variância dos resultados de retenção de água para as argamassas produzidas com areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela D2 – Análise de variância de retenção de água das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 0,50 | 3 | 0,17 | 4,333 | 0,095267 | 6,5914 | NS |
| Erro | 0,16 | 4 | 0,04 | | | | |
| Total | 0,66 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela D3 – Análise de variância de retenção de água das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 1,24 | 3 | 0,41 | 4,133 | 0,10201 | 6,5914 | NS |
| Erro | 0,40 | 4 | 0,1 | | | | |
| Total | 1,64 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela D4 – Análise de variância de retenção de água das argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 4,27 | 3 | 1,42 | 2,36 | 0,21265 | 6,5914 | NS |
| Erro | 2,41 | 4 | 0,60 | | | | |
| Total | 6,68 | 7 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

APÊNDICE E – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE DENSIDADE DE MASSA NO ESTADO ENDURECIDO DAS ARGAMASSAS AOS 28 DIAS

A Tabela E1 apresenta os resultados do ensaio de densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G.

Tabela E1 – Resultados de densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Argamassa | CP | Ø (cm) | H (cm) | Volume (cm ³) | Massa (g) | Densidade de massa (kg/m ³) | Densidade de massa média (kg/m ³) |
|-----------|----|--------|--------|---------------------------|-----------|---|---|
| T. Nat. | 1 | 5,0 | 9,7 | 191,3 | 364,2 | 1904 | 1882 |
| | 2 | 5,0 | 10,0 | 195,4 | 362,3 | 1854 | |
| | 3 | 4,9 | 9,8 | 192,8 | 363,9 | 1887 | |
| T. A25 | 1 | 4,9 | 9,8 | 191,0 | 370,4 | 1939 | 1900 |
| | 2 | 5,0 | 10,0 | 196,2 | 365,4 | 1862 | |
| | 3 | 5,0 | 9,9 | 193,5 | 367,7 | 1900 | |
| T. A50 | 1 | 4,9 | 9,9 | 193,2 | 372,5 | 1928 | 1932 |
| | 2 | 5,0 | 9,9 | 193,5 | 374,7 | 1936 | |
| | 3 | 4,9 | 9,8 | 193,1 | 373,0 | 1932 | |
| T. A75 | 1 | 5,0 | 9,4 | 183,5 | 381,5 | 2079 | 1993 |
| | 2 | 5,0 | 9,9 | 195,2 | 378,2 | 1937 | |
| | 3 | 5,0 | 9,9 | 193,7 | 380,3 | 1964 | |
| T. A100 | 1 | 5,0 | 9,9 | 193,5 | 380,5 | 1967 | 1962 |
| | 2 | 5,0 | 10,0 | 195,3 | 380,1 | 1946 | |
| | 3 | 5,0 | 9,9 | 193,8 | 382,7 | 1975 | |
| T. D25 | 1 | 4,9 | 9,9 | 193,2 | 368,6 | 1908 | 1893 |
| | 2 | 5,0 | 9,9 | 193,9 | 365,5 | 1885 | |
| | 3 | 5,0 | 9,9 | 195,0 | 367,7 | 1885 | |
| T. D50 | 1 | 5,0 | 9,9 | 193,7 | 372,5 | 1923 | 1921 |
| | 2 | 4,9 | 9,9 | 194,2 | 373,8 | 1925 | |
| | 3 | 5,0 | 9,9 | 193,6 | 370,7 | 1915 | |
| T. D75 | 1 | 5,0 | 9,9 | 194,0 | 374,8 | 1932 | 1918 |
| | 2 | 4,9 | 9,9 | 194,0 | 369,8 | 1906 | |
| | 3 | 4,9 | 9,9 | 194,3 | 372,1 | 1915 | |
| T. D100 | 1 | 4,9 | 9,8 | 191,1 | 376,1 | 1968 | 1947 |
| | 2 | 5,0 | 9,7 | 191,2 | 373,3 | 1953 | |
| | 3 | 4,9 | 9,9 | 194,4 | 373,1 | 1920 | |

(continuação)

| Argamassa | CP | Ø (cm) | H (cm) | Volume (cm ³) | Massa (g) | Densidade de massa (kg/m ³) | Densidade de massa média (kg/m ³) |
|-----------|----|--------|--------|---------------------------|-----------|---|---|
| T. G25 | 1 | 5,0 | 9,6 | 188,8 | 362,4 | 1920 | 1890 |
| | 2 | 5,0 | 9,8 | 192,2 | 358,2 | 1864 | |
| | 3 | 5,0 | 9,7 | 190,0 | 358,5 | 1886 | |
| T. G50 | 1 | 4,9 | 10,0 | 195,8 | 362,4 | 1851 | 1877 |
| | 2 | 5,0 | 9,9 | 193,3 | 365,1 | 1889 | |
| | 3 | 5,0 | 9,9 | 194,8 | 368,3 | 1890 | |
| T. G75 | 1 | 5,0 | 9,8 | 191,4 | 361,0 | 1886 | 1876 |
| | 2 | 5,0 | 9,8 | 192,6 | 366,4 | 1903 | |
| | 3 | 5,0 | 10,0 | 195,9 | 359,9 | 1838 | |
| T. G100 | 1 | 4,9 | 9,8 | 193,0 | 356,4 | 1847 | 1845 |
| | 2 | 5,0 | 10,0 | 195,9 | 350,8 | 1790 | |
| | 3 | 4,9 | 9,7 | 189,4 | 359,6 | 1899 | |

Fonte: Elaborada pela autora.

As Tabelas E2, E3 e E4 apresentam as análises de variância dos resultados de densidade de massa no estado endurecido aos 28 dias das argamassas confeccionadas com areias britadas A, D e G, respectivamente.

Tabela E2 – Análise de variância de densidade de massa no estado endurecido das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|-------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 15345 | 3 | 5115 | 2,75 | 0,11247 | 4,0662 | NS |
| Erro | 14891 | 8 | 1861 | | | | |
| Total | 30236 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela E3 – Análise de variância de densidade de massa no estado endurecido das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|--------|----|--------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 4421,4 | 3 | 1473,8 | 6,001 | 0,01907 | 4,0662 | S |
| Erro | 1962,2 | 8 | 245,3 | | | | |
| Total | 6383,6 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela E4 – Análise de variância de densidade de massa no estado endurecido das argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|--------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 3211 | 3 | 1070,3 | 0,793 | 0,531228 | 4,0662 | NS |
| Erro | 10798 | 8 | 1349,7 | | | | |
| Total | 14009 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

APÊNDICE F – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DE MÓDULO DE ELASTICIDADE DINÂMICO DAS ARGAMASSAS AOS 28 DIAS.

A Tabela F1 apresenta os resultados do ensaio de módulo de elasticidade aos 28 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G.

Tabela F1 – Resultados do módulo de elasticidade aos 28 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Arg. | CP | Altura média (mm) | Tempo (μ s) | Velocidade (mm/ μ s) | Densidade de massa (kg/m^3) | Módulo de elasticidade (GPa) | Módulo médio (GPa) |
|---------|----|-------------------|------------------|--------------------------|--|------------------------------|--------------------|
| T. Nat. | 1 | 97,5 | 40,9 | 2,38 | 1904 | 9,73 | 9,59 |
| | 2 | 99,6 | 41,2 | 2,42 | 1854 | 9,75 | |
| | 3 | 98,4 | 42,1 | 2,34 | 1887 | 9,28 | |
| T. A25 | 1 | 97,6 | 38,1 | 2,56 | 1939 | 11,45 | 11,78 |
| | 2 | 100,0 | 36,9 | 2,71 | 1862 | 12,30 | |
| | 3 | 98,6 | 37,9 | 2,60 | 1900 | 11,58 | |
| T. A50 | 1 | 98,7 | 39,4 | 2,51 | 1928 | 10,89 | 11,27 |
| | 2 | 98,6 | 37,9 | 2,60 | 1936 | 11,80 | |
| | 3 | 98,5 | 38,9 | 2,53 | 1932 | 11,14 | |
| T. A75 | 1 | 93,5 | 38,9 | 2,40 | 2079 | 10,81 | 11,40 |
| | 2 | 99,5 | 38,4 | 2,59 | 1937 | 11,70 | |
| | 3 | 98,7 | 38,4 | 2,57 | 1964 | 11,67 | |
| T. A100 | 1 | 98,6 | 40,4 | 2,44 | 1967 | 10,54 | 10,77 |
| | 2 | 99,5 | 39,9 | 2,49 | 1946 | 10,90 | |
| | 3 | 98,8 | 39,9 | 2,48 | 1975 | 10,89 | |
| T. D25 | 1 | 98,5 | 36,9 | 2,67 | 1908 | 12,24 | 11,98 |
| | 2 | 98,8 | 37,4 | 2,64 | 1885 | 11,84 | |
| | 3 | 99,4 | 37,6 | 2,64 | 1885 | 11,85 | |
| T. D50 | 1 | 98,7 | 36,1 | 2,73 | 1923 | 12,94 | 12,70 |
| | 2 | 99,1 | 36,9 | 2,69 | 1925 | 12,50 | |
| | 3 | 98,6 | 36,4 | 2,71 | 1915 | 12,66 | |
| T. D75 | 1 | 98,9 | 35,9 | 2,75 | 1932 | 13,18 | 12,88 |
| | 2 | 99,0 | 36,6 | 2,70 | 1906 | 12,55 | |
| | 3 | 99,1 | 36,2 | 2,74 | 1915 | 12,92 | |
| T. D100 | 1 | 97,5 | 37,1 | 2,63 | 1968 | 12,24 | 12,39 |
| | 2 | 97,4 | 37,0 | 2,63 | 1953 | 12,18 | |
| | 3 | 99,1 | 36,5 | 2,72 | 1920 | 12,74 | |
| T. G25 | 1 | 96,2 | 34,7 | 2,77 | 1920 | 13,28 | 13,66 |
| | 2 | 97,9 | 33,7 | 2,91 | 1920 | 14,17 | |
| | 3 | 96,8 | 34,3 | 2,82 | 1864 | 13,53 | |

(continuação)

| Arg. | CP | Altura média (mm) | Tempo (μ s) | Velocidade (mm/ μ s) | Densidade de massa (kg/m ³) | Módulo de elasticidade (GPa) | Módulo de elasticidade médio (GPa) |
|---------|----|-------------------|------------------|--------------------------|---|------------------------------|------------------------------------|
| T. G50 | 1 | 99,8 | 33,3 | 3,00 | 1851 | 14,98 | 14,28 |
| | 2 | 98,5 | 34,7 | 2,84 | 1889 | 13,70 | |
| | 3 | 99,3 | 34,4 | 2,89 | 1886 | 14,17 | |
| T. G75 | 1 | 97,5 | 33,3 | 2,93 | 1886 | 14,56 | 14,64 |
| | 2 | 98,1 | 33,4 | 2,94 | 1903 | 14,78 | |
| | 3 | 99,8 | 33,6 | 2,97 | 1838 | 14,59 | |
| T. G100 | 1 | 98,5 | 32,2 | 3,06 | 1847 | 15,55 | 15,61 |
| | 2 | 99,8 | 31,6 | 3,16 | 1790 | 16,09 | |
| | 3 | 96,6 | 32,4 | 2,98 | 1899 | 15,18 | |

Fonte: Elaborada pela autora.

As Tabelas F2, F3 e F4 apresentam as análises de variância dos resultados do módulo de elasticidade aos 28 dias das argamassas preparadas com areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela F2 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 1,53 | 3 | 0,51 | 2,803 | 0,1084 | 4,0662 | NS |
| Erro | 1,46 | 8 | 0,18 | | | | |
| Total | 2,99 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela F3 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,83 | 3 | 0,28 | 1,7213 | 0,2412 | 4,0662 | NS |
| Erro | 1,29 | 8 | 0,16 | | | | |
| Total | 2,12 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela F4 – Análise de variância do módulo de elasticidade dinâmico aos 28 dias das argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 5,96 | 3 | 1,99 | 9,32 | 0,0055 | 4,0662 | S |
| Erro | 1,71 | 8 | 0,21 | | | | |
| Total | 7,67 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

APÊNDICE G – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RESISTÊNCIAS À TRAÇÃO NA FLEXÃO DAS ARGAMASSAS AOS 3, 7 E 28 DIAS

As Tabelas G1, G2 e G3 apresentam os resultados do ensaio de resistência à tração na flexão aos 3, 7 e 28 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela G1 – Resultados das resistências à tração na flexão aos 3 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Arg. | Resistência à tração na flexão (MPa) | | | Resistência média (MPa) | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---------|--------------------------------------|------|------|-------------------------|---------------|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| T. Nat | 0,80 | 1,26 | 1,21 | 1,1 | 0,21 | 18,93 |
| T. A25 | 1,33 | 1,30 | 1,56 | 1,4 | 0,12 | 8,26 |
| T. A50 | 1,66 | 1,40 | 1,47 | 1,5 | 0,11 | 7,36 |
| T. A75 | 1,49 | 1,54 | 1,51 | 1,5 | 0,02 | 1,44 |
| T. A100 | 1,36 | 1,36 | 1,44 | 1,4 | 0,04 | 2,59 |
| T. D25 | 1,30 | 1,54 | 1,49 | 1,4 | 0,10 | 7,01 |
| T. D50 | 1,65 | 1,70 | 1,62 | 1,7 | 0,03 | 2,06 |
| T. D75 | 2,09 | 1,94 | 2,01 | 2,0 | 0,06 | 2,95 |
| T. D100 | 1,84 | 2,05 | 1,82 | 1,9 | 0,10 | 5,50 |
| T. G25 | 1,36 | 1,65 | 1,62 | 1,5 | 0,13 | 8,50 |
| T. G50 | 1,80 | 1,66 | 1,69 | 1,7 | 0,06 | 3,64 |
| T. G75 | 2,36 | 2,32 | 2,34 | 2,3 | 0,02 | 0,78 |
| T. G100 | 2,38 | 2,64 | 2,63 | 2,5 | 0,12 | 4,71 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela G2 – Resultados das resistências à tração na flexão aos 7 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Arg. | Resistência à tração na flexão (MPa) | | | Resistência média (MPa) | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---------|--------------------------------------|------|------|-------------------------|---------------|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| T. Nat | 1,49 | 1,43 | 1,38 | 1,4 | 0,05 | 3,27 |
| T. A25 | 1,50 | 1,79 | 1,80 | 1,7 | 0,14 | 7,98 |
| T. A50 | 1,96 | 1,58 | 1,65 | 1,7 | 0,16 | 9,44 |
| T. A75 | 2,01 | 1,77 | 1,88 | 1,9 | 0,10 | 5,18 |
| T. A100 | 1,81 | 1,82 | 1,73 | 1,8 | 0,04 | 2,25 |
| T. D25 | 1,99 | 1,69 | 1,97 | 1,9 | 0,14 | 7,32 |
| T. D50 | 1,72 | 1,97 | 1,90 | 1,9 | 0,11 | 5,68 |
| T. D75 | 2,05 | 2,09 | 2,07 | 2,1 | 0,02 | 0,83 |

(continuação)

| Arg. | Resistência à tração na flexão (MPa) | | | Resistência média (MPa) | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---------|--------------------------------------|------|------|-------------------------|---------------|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| T. D100 | 2,29 | 2,23 | 2,21 | 2,2 | 0,04 | 1,63 |
| T. G25 | 2,22 | 2,04 | 1,83 | 2,0 | 0,16 | 8,02 |
| T. G50 | 2,14 | 2,17 | 1,72 | 2,0 | 0,21 | 10,22 |
| T. G75 | 3,05 | 2,63 | 2,85 | 2,8 | 0,17 | 6,02 |
| T. G100 | 2,69 | 2,69 | 2,78 | 2,7 | 0,04 | 1,50 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela G3 – Resultados das resistências à tração na flexão aos 28 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Arg. | Resistência à tração na flexão (MPa) | | | Resistência média (MPa) | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---------|--------------------------------------|------|------|-------------------------|---------------|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | | | |
| T. Nat | 1,69 | 1,54 | 1,56 | 1,6 | 0,06 | 4,06 |
| T. A25 | 2,24 | 2,10 | 2,35 | 2,2 | 0,10 | 4,62 |
| T. A50 | 2,31 | 2,48 | 2,09 | 2,3 | 0,16 | 6,96 |
| T. A75 | 2,13 | 2,34 | 2,13 | 2,2 | 0,10 | 4,48 |
| T. A100 | 2,34 | 2,31 | 2,46 | 2,4 | 0,07 | 2,75 |
| T. D25 | 2,33 | 2,38 | 2,11 | 2,3 | 0,12 | 5,11 |
| T. D50 | 2,56 | 2,78 | 2,74 | 2,7 | 0,09 | 3,51 |
| T. D75 | 3,04 | 3,10 | 3,21 | 3,1 | 0,07 | 2,26 |
| T. D100 | 2,99 | 3,55 | 3,31 | 3,3 | 0,23 | 6,98 |
| T. G25 | 2,70 | 2,90 | 3,53 | 3,0 | 0,36 | 11,73 |
| T. G50 | 3,34 | 3,16 | 3,06 | 3,2 | 0,12 | 3,72 |
| T. G75 | 4,68 | 4,59 | 5,40 | 4,9 | 0,36 | 7,38 |
| T. G100 | 5,14 | 5,74 | 5,01 | 5,3 | 0,32 | 5,97 |

Fonte: Elaborada pela autora.

- Análise estatística

a. Resistência à tração na flexão aos 3 dias

As Tabelas G4, G5 e G6 apresentam as análises de variância dos resultados de resistência à tração na flexão aos 3 dias para as argamassas produzidas com areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela G4 – Análise de variância da resistência à tração na flexão aos 3 dias das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,04 | 3 | 0,01 | 1,407 | 0,31009 | 4,0662 | NS |
| Erro | 0,08 | 8 | 0,01 | | | | |
| Total | 0,12 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela G5 – Análise de variância da resistência à tração na flexão aos 3 dias das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,59 | 3 | 0,20 | 19,785 | 0,000466 | 4,0662 | S |
| Erro | 0,08 | 8 | 0,01 | | | | |
| Total | 0,67 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela G6 – Análise de variância da resistência à tração na flexão aos 3 dias nas argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 2,10 | 3 | 0,70 | 52,961 | 0,000013 | 4,0662 | S |
| Erro | 0,11 | 8 | 0,01 | | | | |
| Total | 2,21 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

b. Resistência à tração na flexão aos 7 dias

As Tabelas G7, G8 e G9 apresentam as análises de variância dos resultados de resistência à tração na flexão aos 7 dias para as argamassas confeccionadas com a incorporação de areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela G7 – Análise de variância da resistência à tração na flexão aos 7 dias das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,06 | 3 | 0,02 | 0,9569 | 0,4583 | 4,0662 | NS |
| Erro | 0,17 | 8 | 0,02 | | | | |
| Total | 0,23 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela G8 – Análise de variância da resistência à tração na flexão aos 7 dias das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,29 | 3 | 0,10 | 8,1449 | 0,008157 | 4,0662 | S |
| Erro | 0,09 | 8 | 0,01 | | | | |
| Total | 0,38 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela G9 – Análise de variância da resistência à tração na flexão aos 7 dias nas argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 1,76 | 3 | 0,59 | 15,8653 | 0,000992 | 4,0662 | S |
| Erro | 0,30 | 8 | 0,04 | | | | |
| Total | 2,06 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

c. Resistência à tração na flexão aos 28 dias

As Tabelas G10, G11 e G12 apresentam as análises de variância dos resultados de resistência à tração na flexão aos 28 dias para as argamassas preparadas com a incorporação de areias britadas A, D e G, respectivamente.

Tabela G10 – Análise de variância da resistência à tração na flexão aos 28 dias das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,05 | 3 | 0,02 | 0,9075 | 0,47912 | 4,0662 | NS |
| Erro | 0,15 | 8 | 0,02 | | | | |
| Total | 0,20 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela G11 – Análise de variância da resistência à tração na flexão aos 28 dias das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 1,85 | 3 | 0,62 | 20,3987 | 0,000419 | 4,0662 | S |
| Erro | 0,24 | 8 | 0,03 | | | | |
| Total | 2,09 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela G12 – Análise de variância da resistência à tração na flexão aos 28 dias nas argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|--------------|-----------|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 12,02 | 3 | 4,07 | 28,7997 | 0,000123 | 4,0662 | S |
| Erro | 1,11 | 8 | 0,14 | | | | |
| Total | 13,13 | 11 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

APÊNDICE H – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS AOS 3, 7 E 28 DIAS

As Tabelas H1, H2 e H3 apresentam os resultados do ensaio de resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela H1 – Resultados das resistências à compressão aos 3 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Arg. | Resistência à compressão (MPa) | | | | | | Resistência média (MPa) | Desvio padrão | Coeficiente de variação (%) |
|---------|--------------------------------|------|------|------|------|------|-------------------------|---------------|-----------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| T. Nat | 3,45 | 3,45 | 3,52 | 3,73 | 3,24 | 3,70 | 3,5 | 0,16 | 4,66 |
| T. A25 | 4,52 | 4,73 | 4,66 | 4,82 | 5,01 | 5,22 | 4,8 | 0,23 | 4,81 |
| T. A50 | 5,31 | 5,03 | 4,99 | 4,76 | 5,02 | 5,15 | 5,0 | 0,16 | 3,27 |
| T. A75 | 4,60 | 4,79 | 4,70 | 4,75 | 4,69 | 4,51 | 4,7 | 0,09 | 2,00 |
| T. A100 | 4,71 | 4,67 | 4,91 | 4,66 | 5,00 | 4,72 | 4,8 | 0,13 | 2,67 |
| T. D25 | 4,98 | 4,97 | 5,14 | 4,91 | 5,02 | 5,54 | 5,1 | 0,21 | 4,16 |
| T. D50 | 5,85 | 5,86 | 5,66 | 5,82 | 6,24 | 6,28 | 5,9 | 0,23 | 3,82 |
| T. D75 | 5,99 | 5,99 | 6,52 | 6,75 | 6,42 | 6,64 | 6,4 | 0,30 | 4,65 |
| T. D100 | 6,02 | 6,12 | 6,45 | 6,52 | 6,48 | 6,05 | 6,3 | 0,21 | 3,41 |
| T. G25 | 5,70 | 5,90 | 5,60 | 6,11 | 6,18 | 6,09 | 5,9 | 0,22 | 3,69 |
| T. G50 | 6,76 | 6,53 | 6,24 | 6,32 | 6,70 | 6,71 | 6,5 | 0,20 | 3,05 |
| T. G75 | 7,17 | 7,81 | 7,44 | 8,04 | 8,01 | 7,51 | 7,7 | 0,32 | 4,16 |
| T. G100 | 8,48 | 8,09 | 8,70 | 8,56 | 8,05 | 8,45 | 8,4 | 0,24 | 2,83 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela H2 – Resultados das resistências à compressão aos 7 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Arg. | Resistência à compressão (MPa) | | | | | | Resistência média (MPa) | Desvio padrão | CV (%) |
|---------|--------------------------------|------|------|------|------|------|-------------------------|---------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| T. Nat | 5,30 | 5,11 | 4,93 | 5,09 | 5,26 | 4,76 | 5,07 | 0,18 | 3,64 |
| T. A25 | 5,80 | 5,62 | 5,76 | 5,73 | 5,64 | 5,97 | 5,75 | 0,11 | 1,98 |
| T. A50 | 6,14 | 6,40 | 6,17 | 6,22 | 6,23 | 6,31 | 6,24 | 0,09 | 1,41 |
| T. A75 | 6,04 | 6,12 | 6,13 | 6,22 | 6,15 | 6,38 | 6,17 | 0,11 | 1,71 |
| T. A100 | 5,97 | 6,13 | 6,10 | 6,05 | 5,82 | 6,23 | 6,05 | 0,13 | 2,12 |
| T. D25 | 6,10 | 6,82 | 6,15 | 6,29 | 6,32 | 6,79 | 6,41 | 0,29 | 4,51 |
| T. D50 | 6,87 | 7,31 | 7,13 | 6,98 | 7,61 | 7,39 | 7,22 | 0,25 | 3,51 |
| T. D75 | 7,17 | 7,85 | 7,84 | 7,88 | 8,26 | 7,91 | 7,82 | 0,32 | 4,14 |

(continuação)

| Arg. | Resistência à compressão (MPa) | | | | | | Resistência média (MPa) | Desvio padrão | CV (%) |
|---------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|---------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| T. D100 | 7,74 | 7,97 | 7,84 | 7,38 | 7,88 | 8,31 | 7,85 | 0,28 | 3,52 |
| T. G25 | 8,28 | 8,16 | 8,22 | 8,05 | 6,79 | 7,90 | 7,90 | 0,51 | 6,46 |
| T. G50 | 8,56 | 7,77 | 7,89 | 7,18 | 7,83 | 7,82 | 7,84 | 0,40 | 5,09 |
| T. G75 | 11,60 | 11,33 | 11,32 | 10,26 | 10,62 | 10,29 | 10,90 | 0,54 | 4,92 |
| T. G100 | 10,71 | 11,23 | 10,34 | 11,17 | 11,73 | 11,23 | 11,07 | 0,44 | 3,98 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: CV – Coeficiente de variação.

Tabela H3 – Resultados das resistências à compressão aos 28 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G

| Arg. | Resistência à compressão (MPa) | | | | | | Resistência média (MPa) | Desvio padrão | CV (%) |
|---------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------------|---------------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| T. Nat | 6,30 | 6,54 | 6,08 | 6,38 | 6,41 | 6,76 | 6,4 | 0,21 | 3,24 |
| T. A25 | 6,47 | 6,42 | 6,74 | 7,00 | 6,98 | 6,70 | 6,7 | 0,22 | 3,33 |
| T. A50 | 7,72 | 7,08 | 7,82 | 7,45 | 8,02 | 7,56 | 7,6 | 0,30 | 3,92 |
| T. A75 | 8,35 | 7,77 | 8,47 | 8,55 | 8,08 | 8,33 | 8,3 | 0,26 | 3,17 |
| T. A100 | 7,40 | 7,26 | 7,45 | 7,35 | 7,53 | 7,58 | 7,4 | 0,11 | 1,45 |
| T. D25 | 8,80 | 9,19 | 8,77 | 7,80 | 8,73 | 8,00 | 8,5 | 0,49 | 5,68 |
| T. D50 | 8,82 | 8,71 | 8,84 | 9,62 | 8,84 | 8,99 | 9,0 | 0,30 | 3,36 |
| T. D75 | 11,23 | 10,41 | 10,65 | 9,46 | 10,44 | 9,97 | 10,4 | 0,55 | 5,32 |
| T. D100 | 11,11 | 10,66 | 10,39 | 10,62 | 11,18 | 10,44 | 10,7 | 0,31 | 2,85 |
| T. G25 | 9,61 | 9,74 | 9,03 | 9,55 | 10,59 | 10,86 | 9,9 | 0,63 | 6,36 |
| T. G50 | 10,63 | 10,73 | 10,94 | 10,76 | 9,85 | 10,61 | 10,6 | 0,35 | 3,27 |
| T. G75 | 12,21 | 12,75 | 12,67 | 12,62 | 12,85 | 13,19 | 12,7 | 0,29 | 2,30 |
| T. G100 | 14,39 | 14,23 | 14,45 | 14,51 | 14,16 | 13,86 | 14,3 | 0,22 | 1,51 |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: CV – Coeficiente de variação.

- Análise estatística

a. Resistência à compressão aos 3 dias

As Tabelas H4, H5 e H6 apresentam as análises de variância dos resultados de resistência à compressão aos 3 dias para as argamassas produzidas com areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela H4 – Análise de variância da resistência à compressão aos 3 dias das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,44 | 3 | 0,15 | 4,5553 | 0,01372 | 3,0984 | S |
| Erro | 0,64 | 20 | 0,03 | | | | |
| Total | 1,08 | 23 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela H5 – Análise de variância da resistência à compressão aos 3 dias das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 6,15 | 3 | 2,05 | 29,6569 | 0,000000 | 3,0984 | S |
| Erro | 1,38 | 20 | 0,07 | | | | |
| Total | 7,53 | 23 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela H6 – Análise de variância da resistência à compressão aos 3 dias das argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|-------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 21,91 | 3 | 7,30 | 99,5677 | 0,000000 | 3,0984 | S |
| Erro | 1,47 | 20 | 0,07 | | | | |
| Total | 23,38 | 23 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

b. Resistência à compressão aos 7 dias

As Tabelas H7, H8 e H9 apresentam as análises de variância dos resultados de resistência à compressão aos 7 dias para as argamassas confeccionadas com incorporação de areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela H7 – Análise de variância da resistência à compressão aos 7 dias das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,85 | 3 | 0,28 | 19,1612 | 0,000004 | 3,0984 | S |
| Erro | 0,29 | 20 | 0,01 | | | | |
| Total | 1,14 | 23 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela H8 – Análise de variância da resistência à compressão aos 7 dias das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|-------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 8,21 | 3 | 2,74 | 27,8655 | 0,000000 | 3,0984 | S |
| Erro | 1,96 | 20 | 0,10 | | | | |
| Total | 10,17 | 23 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela H9 – Análise de variância da resistência à compressão aos 7 dias das argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|-------|----|-------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 58,31 | 3 | 19,44 | 77,9692 | 0,000000 | 3,0984 | S |
| Erro | 5,40 | 20 | 0,27 | | | | |
| Total | 63,71 | 23 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

c. Resistência à compressão aos 28 dias

As Tabelas H10, H11 e H12 apresentam as análises de variância dos resultados de resistência à compressão aos 28 dias para as argamassas preparadas com incorporação de areias britadas A, D e G, respectivamente.

Tabela H10 – Análise de variância da resistência à compressão aos 28 dias das argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 7,45 | 3 | 2,48 | 28,6389 | 0,000000 | 3,0984 | S |
| Erro | 1,73 | 20 | 0,09 | | | | |
| Total | 9,18 | 23 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela H11 – Análise de variância da resistência à compressão aos 28 dias das argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|--------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 20,12 | 3 | 6,71 | 30,9085 | 0,000000 | 3,0984 | S |
| Erro | 4,34 | 20 | 0,22 | | | | |
| Total | 24,46 | 23 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela H12 – Análise de variância da resistência à compressão aos 28 dias das argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|--------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 71,99 | 3 | 24,00 | 122,9229 | 0,000000 | 3,0984 | S |
| Erro | 3,90 | 20 | 0,19 | | | | |
| Total | 75,89 | 23 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

APÊNDICE I – RESULTADOS BRUTOS E ANÁLISES DE VARIÂNCIA DAS RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DAS ARGAMASSAS AOS 28 DIAS

As Tabelas I1, I2 e I3 apresentam os resultados do ensaio de resistência de aderência à tração aos 28 dias das argamassas com areia natural e areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela I1 – Resultados das resistências de aderência à tração aos 28 dias das argamassas com areia natural e areia de britagem A

| CP | T. Nat | | T. A25 | | T. A50 | | T. A75 | | T. A100 | |
|----------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|
| | RA | LR | RA | LR | RA | LR | RA | LR | RA | LR |
| 1 | 0,24 | F | 0,11 | D/E | 0,21 | F | 0,19 | D/E | 0,04 | D/E |
| 2 | 0,20 | F | 0,10 | D/E | 0,03 | F | 0,22 | D/E | 0,22 | C |
| 3 | 0,22 | D/E | 0,06 | D/E | 0,18 | F | 0,23 | D/E | 0,34 | F |
| 4 | 0,17 | F | 0,15 | F | 0,15 | F | 0,30 | D/E | 0,18 | D/E |
| 5 | 0,23 | D/E | 0,21 | F | 0,10 | F | 0,19 | D/E | 0,18 | E |
| 6 | 0,17 | D/E | 0,13 | F | 0,15 | A/D | 0,27 | D/E | 0,26 | F |
| 7 | 0,25 | F | 0,35 | F | 0,27 | D | 0,34 | F | 0,10 | D/E |
| 8 | 0,16 | D/E | 0,29 | D/E | 0,02 | F | 0,16 | D/E | 0,20 | D/E |
| 9 | 0,18 | F | 0,12 | F | 0,21 | A/D | 0,09 | D/E | 0,20 | D/E |
| 10 | 0,31 | F | 0,17 | F | 0,09 | F | 0,07 | B/D | 0,07 | D/E |
| 11 | 0,22 | F | 0,04 | F | 0,16 | D/E | 0,26 | B/D | 0,28 | E |
| 12 | 0,23 | D/E | 0,23 | F | 0,07 | D | - | - | - | - |
| RA Média (MPa) | 0,21 | - | 0,16 | - | 0,14 | - | 0,21 | - | 0,19 | - |
| DP (MPa) | 0,04 | - | 0,088 | - | 0,072 | - | 0,081 | - | 0,085 | - |
| CV (%) | 18,75 | - | 54,11 | - | 52,41 | - | 38,37 | - | 45,17 | - |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: RA – Resistência de aderência à tração; LR – Local de ruptura; DP – Desvio-padrão; CV – Coeficiente de variação; A – Ruptura no substrato; B – Ruptura na interface substrato/chapisco; C – Ruptura no chapisco; D – Ruptura na interface chapisco/argamassa; E – Ruptura na argamassa; F – Ruptura na interface argamassa/cola; G – Ruptura na interface cola/plastilha.

Tabela I2 – Resultados das resistências de aderência à tração aos 28 dias das argamassas com areia de britagem D

| CP | T. D25 | | T. D50 | | T. D75 | | T. D100 | |
|----------------|--------|-----|--------|-----|--------|-----|---------|-----|
| | RA | LR | RA | LR | RA | LR | RA | LR |
| 1 | 0,37 | F | 0,39 | E | 0,23 | F | 0,25 | A/B |
| 2 | 0,14 | B/C | 0,33 | F | 0,28 | F | 0,40 | E |
| 3 | 0,29 | F | 0,31 | F | 0,35 | D/E | 0,33 | F |
| 4 | 0,38 | F | 0,27 | A | 0,24 | E | 0,39 | E/F |
| 5 | 0,26 | F | 0,31 | F | 0,25 | F | 0,11 | F |
| 6 | 0,14 | F | 0,06 | F | 0,39 | F | 0,41 | F |
| 7 | 0,19 | F | 0,29 | F | 0,41 | F | 0,31 | F |
| 8 | 0,14 | D | 0,45 | E | 0,35 | B/D | 0,32 | E |
| 9 | 0,28 | F | 0,32 | F | 0,29 | F | 0,48 | E |
| 10 | 0,23 | E | 0,36 | F | 0,25 | F | 0,38 | B/D |
| 11 | 0,21 | F | 0,56 | D/E | 0,16 | B/D | 0,43 | F |
| 12 | 0,23 | F | 0,22 | A | 0,30 | B/E | 0,35 | A |
| RA Média (MPa) | 0,24 | - | 0,32 | - | 0,29 | - | 0,35 | - |
| DP (MPa) | 0,08 | - | 0,23 | - | 0,07 | - | 0,09 | - |
| CV (%) | 33,54 | - | 69,63 | - | 23,78 | - | 26,48 | - |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: RA – Resistência de aderência à tração; LR – Local de ruptura; DP – Desvio-padrão; CV – Coeficiente de variação; A – Ruptura no substrato; B – Ruptura na interface substrato/chapisco; C – Ruptura no chapisco; D – Ruptura na interface chapisco/argamassa; E – Ruptura na argamassa; F – Ruptura na interface argamassa/cola; G – Ruptura na interface cola/plastilha.

Tabela I3 – Resultados das resistências de aderência à tração aos 28 dias das argamassas com areia de britagem G

| CP | T. G25 | | T. G50 | | T. G75 | | T. G100 | |
|----|--------|-----|--------|----|--------|-----|---------|-----|
| | RA | LR | RA | LR | RA | LR | RA | LR |
| 1 | 0,50 | F | 0,01 | F | 0,28 | F | 0,16 | C/D |
| 2 | 0,27 | F | 0,29 | F | 0,35 | D | 0,65 | B/D |
| 3 | 0,29 | B/D | 0,24 | F | 0,29 | B/D | 0,40 | F |
| 4 | 0,38 | F | 0,15 | F | 0,51 | D | 0,40 | B/D |
| 5 | 0,35 | F | 0,26 | F | 0,40 | E/F | 0,18 | C/D |
| 6 | 0,25 | F | 0,35 | F | 0,39 | B | 0,63 | A/B |
| 7 | 0,28 | B | 0,32 | F | 0,40 | F | 0,26 | F |
| 8 | 0,33 | E | 0,33 | D | 0,34 | F | 0,56 | D |
| 9 | 0,42 | B/D | 0,22 | F | 0,35 | C/D | 0,42 | A/B |
| 10 | 0,37 | F | 0,29 | F | 0,04 | F | 0,21 | D |
| 11 | 0,40 | F | 0,05 | F | 0,33 | F | 0,32 | D |
| 12 | 0,12 | F | 0,25 | F | 0,56 | E/F | 0,65 | F |

(continuação)

| CP | T. G25 | | T. G50 | | T. G75 | | T. G100 | |
|----------------|--------|----|--------|----|--------|----|---------|----|
| | RA | LR | RA | LR | RA | LR | RA | LR |
| RA Média (MPa) | 0,33 | - | 0,23 | - | 0,35 | - | 0,40 | - |
| DP (MPa) | 0,09 | - | 0,10 | - | 0,12 | - | 0,18 | - |
| CV (%) | 28,47 | - | 44,12 | - | 34,39 | - | 43,70 | - |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: RA – Resistência de aderência à tração; LR – Local de ruptura; DP – Desvio-padrão; CV – Coeficiente de variação; A – Ruptura no substrato; B – Ruptura na interface substrato/chapisco; C – Ruptura no chapisco; D – Ruptura na interface chapisco/argamassa; E – Ruptura na argamassa; F – Ruptura na interface argamassa/cola; G – Ruptura na interface cola/plastilha.

As Tabelas I4, I5 e I6 apresentam as análises de variância dos resultados de resistência de aderência à tração aos 28 dias para as argamassas produzidas com areias de britagem A, D e G, respectivamente.

Tabela I4 – Análise de variância da resistência de aderência à tração aos 28 dias nas argamassas com areia A

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,02 | 3 | 0,01 | 1,1243 | 0,35072 | 2,8388 | NS |
| Erro | 0,28 | 40 | 0,01 | | | | |
| Total | 0,30 | 43 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela I5 – Análise de variância da resistência de aderência à tração aos 28 dias nas argamassas com areia D

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|-------|------|----|------|---------|-----------|-----------|---------------|
| % ab | 0,09 | 3 | 0,03 | 5,4031 | 0,00323 | 2,8388 | S |
| Erro | 0,23 | 40 | 0,01 | | | | |
| Total | 0,32 | 43 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.

Tabela I6 – Análise de variância da resistência de aderência à tração aos 28 dias nas argamassas com areia G

| Fator | SQ | GL | MQ | Teste F | Valor - P | F crítico | Significância |
|--------------|-------------|-----------|-----------|----------------|------------------|------------------|----------------------|
| % ab | 0,18 | 3 | 0,06 | 4,7686 | 0,0062 | 2,8388 | S |
| Erro | 0,51 | 40 | 0,01 | | | | |
| Total | 0,69 | 43 | | | | | |

Fonte: Elaborada pela autora.

Legenda: % ab – Percentual de areia de britagem; SQ – Soma quadrada; GL – Grau de liberdade; MQ – Média quadrada; S – Significativo; NS – Não significativo.