



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE ARQUITETURA ARTES COMUNICAÇÃO E DESIGN (FAAC)
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
(PPGARQ)**

LEANDRO AUGUSTO ERBA

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA NATURAL POR AREIA
DE BRITAGEM EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO: CARACTERÍSTICAS,
PROPRIEDADES E CONDUTIVIDADE TÉRMICA**

BAURU/SP

2022

LEANDRO AUGUSTO ERBA

**INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DE AREIA NATURAL POR AREIA
DE BRITAGEM EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO: CARACTERÍSTICAS,
PROPRIEDADES E CONDUTIVIDADE TÉRMICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGARQ) da Faculdade de Arquitetura Artes Comunicação e Design da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Bauru, como requisito final para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof.º Dr.º Maximiliano dos Anjos Azambuja

BAURU/SP

2022

Dados para a catalogação

Erba, Leandro Augusto

Influência da substituição parcial de areia natural por areia de britagem em argamassas de revestimento: características, propriedades e condutividade térmica/

Leandro Augusto Erba, 2022

121f.

Orientador: Maximiliano dos Anjos Azambuja

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Bauru, 2022

1. Argamassa para revestimento. 2. Areia de britagem
3. Pó de pedra. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design. II. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Bauru



ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LEANDRO AUGUSTO ERBA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 09 dias do mês de fevereiro do ano de 2022, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LEANDRO AUGUSTO ERBA, intitulada **INFLUÊNCIA DA SUBSTITUIÇÃO DA AREIA NATURAL PELA ARTIFICIAL DE BRITAGEM NA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Associado MAXIMILIANO DOS ANJOS AZAMBUJA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Programa de Pos-graduacao em Arquitetura e Urbanismo / FAAC/UNESP/Bauru, Profª. Drª. RENATA CARDOSO MAGAGNIN (Participação Virtual) do(a) Programa de Pos-graduacao em Arquitetura e Urbanismo / FAAC/UNESP/Bauru, Prof. Dr. JOÃO ADRIANO ROSSIGNOLO (Participação Virtual) do(a) Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Materiais / USP. Após a exposição pelo mestrando e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, o discente recebeu o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Associado MAXIMILIANO DOS ANJOS AZAMBUJA

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho a minha família, aos meus professores e a todas as pessoas que me deram força para cumprir mais essa etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o grande Engenheiro do Universo, por tudo que me tem concedido. Aos meus familiares pelo fundamental apoio dado durante todo o período do curso e em especial na realização deste trabalho. Agradeço meu orientador, Prof.º Dr.º Maximiliano dos Anjos Azambuja não só pelo conhecimento que me fez adquirir durante o curso, mas também pelos conselhos que me deu, muitas vezes não como professor, mas como pai.

Agradeço a todos os colegas do curso pelas experiências de vida trocadas e em especial ao Arquiteto e Urbanista Jeferson Antonelli e ao Engenheiro Civil Claudio Lucas, de Angola, grandes parceiros na maioria dos momentos da pesquisa.

“Naquele tempo, tomou Jesus a palavra e disse: ‘Vinde a mim todos vós que estais cansados e fatigados sob o peso dos vossos fardos, e eu vos darei descanso. Tomai sobre vós o meu jugo e aprendei de mim, porque sou manso e humilde de coração, e vós encontrareis descanso. Pois o meu jugo é suave e o meu fardo é leve.’”

Mateus 11,28-30

ERBA, Leandro Augusto. **Influência da substituição parcial de areia natural por areia de britagem em argamassas de revestimento: características, propriedades e condutividade térmica.** 121f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Artes, Comunicação e Design, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2022.

RESUMO

A sustentabilidade deve nortear todos os projetos desde sua concepção, para esse fim, o uso de materiais alternativos pode minimizar os impactos ao meio ambiente. O uso de areia de britagem, subproduto gerado em pedreiras durante o processo de fabricação de britas empregadas na construção civil, pode reduzir o consumo de areia natural, reduzindo o impacto ambiental da extração desse material. Nesse sentido, esta pesquisa visa avaliar a influência da substituição da areia natural pela de britagem nas propriedades físico-mecânicas e térmicas em argamassas para revestimento de paredes. Foram confeccionadas argamassas com areia de britagem proveniente de pedreiras da região de Bauru/SP, realizando 6 porcentagens de substituição, em massa, da areia natural pela de britagem: 10%, 20%, 30%, 40%, 50% e 100% e mais um referencial com 100% de areia natural, totalizando 7 traços. Todas as argamassas foram confeccionadas de acordo com a norma ABNT NBR 13276/2005. Avaliou-se o desempenho das argamassas no estado fresco e endurecido através de diversos ensaios prescritos nas normas, a fim de verificar-se as propriedades físico-mecânicas e térmicas das argamassas. Ao final pode-se afirmar que é viável a utilização da areia de britagem em substituição à areia natural no percentual de 20% para confecção de argamassas para revestimento de paredes externas, que de um modo geral, apresentou os melhores resultados de resistência mecânica aliado com uma boa trabalhabilidade. Constatou-se também que, para revestimento interno em áreas secas, é possível utilizar até 50% de areia de britagem, sem comprometer o desempenho da argamassa.

Palavras-chave: Argamassa para revestimento. Areia de britagem. Pó de pedra.

ERBA, Leandro Augusto. **Influence of partial replacement of natural sand by crushed sand in coating mortars: characteristics, properties and thermal conductivity.**121f. Dissertation (Academic Master's in Architecture and Urbanism) – Faculty of Architecture, Arts, Communication and Design, São Paulo State University, Bauru, 2022.

ABSTRACT

Sustainability should guide all projects since their conception, for this purpose, the use of alternative materials can minimize the impacts to the environment. The use of crushed sand, a byproduct generated in quarries during the manufacturing process of crushed stone used in construction, can reduce the consumption of natural sand, reducing the environmental impact of the extraction of this material. In this sense, this research aims to evaluate the influence of the substitution of natural sand by crushed sand in the physical, mechanical and thermal properties of mortars for wall cladding. Mortars were made with crushed sand from quarries in the region of Bauru/SP, with 6 percentages of substitution, in mass, of natural sand by crushed sand: 10%, 20%, 30%, 40%, 50% and 100% and a reference with 100% of natural sand, totaling 7 mixes. All mortars were made according to the ABNT NBR 13276/2005 standard. The performance of the mortars in the fresh and hardened states was evaluated through several tests prescribed in the norms, in order to verify the physical, mechanical and thermal properties of the mortars. At the end, it can be stated that it is feasible to use crushed sand as a substitute for natural sand in the percentage of 20% for making mortars for coating external walls, which in general, presented the best results in terms of mechanical strength combined with good workability. It was also found that, for internal coating in dry areas, it is possible to use up to 50% of crushed sand, without compromising the performance of the mortar.

Keywords: Mortar for coating. Crushing sand. Grit.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – O papel social dos agregados	15
Figura 2 – Produção de agregados comparado com o PIB	15
Figura 3 - Camadas do revestimento em argamassa	21
Figura 4 - Fluxograma do método de dosagem	40
Figura 5 - Fluxograma da pesquisa teórica	54
Figura 6 - Fluxograma da pesquisa experimental	55
Figura 7 - Vista geral do processo de britagem de rochas basálticas	57
Figura 8 - Distribuição granulométrica dos agregados	59
Figura 9 - Fluxograma do método de dosagem	59
Figura 10 - Fluxograma do processo de confecção das argamassas	62
Figura 11 - Ensaio <i>flowtable</i> (A) moldagem; (B) início e (C) finalização do ensaio.	64
Figura 12 – Corpos de Prova após o ensaio de absorção de água	65
Figura 13 - Ensaio de resistência à tração na flexão	66
Figura 14 - Ensaio de resistência à compressão	67
Figura 15 - Realização do ensaio de resistência de aderência à tração	68
Figura 16 - Montagem do conjunto	69
Figura 17 - Protótipo para medição da condutividade térmica	70
Figura 18 - Curvas granulométricas dos agregados	73
Figura 19 - Areia Natural (esquerda) e Areia de Britagem (direita)	74
Figura 20 - Teor de material pulverulento dos agregados	74
Figura 21 - Proporcionamento dos materiais versus resistência à tração na flexão	78
Figura 22 - Proporcionamento dos materiais versus resistência à compressão	79
Figura 23 – Gráfico de resistência à tração na flexão aos 28 dias	83
Figura 24 – Gráfico de resistência à compressão aos 28 dias	84
Figura 25 – Gráfico de coeficiente de capilaridade aos 28 dias	85
Figura 26 – Gráfico de massa específica no estado endurecido aos 28 dias	86
Figura 27 – Gráfico de resistência de aderência à tração aos 28 dias	87
Figura 28 - Ensaio de Condutividade Térmica	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resistência à compressão	19
Quadro 2 - Resistência à tração na flexão	19
Quadro 3 - Coeficiente de capilaridade	19
Quadro 4 - Densidade de massa aparente no estado endurecido	20
Quadro 5 - Densidade de massa no estado fresco	20
Quadro 6 - Resistência potencial de aderência à tração	20
Quadro 7 - Módulo de Finura do agregado miúdo	23
Quadro 8 - Incorporação de areia de britagem	48
Quadro 9 - Resultados encontrados pelos autores para arg. no estado fresco	49
Quadro 10 - Resultados encontrados pelos autores para arg. no estado endurecido	50
Quadro 11 – Resultados de condutividade térmica em argamassas	52
Quadro 12 - Características do cimento	56
Quadro 13 - Características da cal	57
Quadro 14 - Caracterização dos agregados	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição dos Traços (misturas) das areias para estudo granulométrico	58
Tabela 2 - Resultados de massa unitária e massa específica	75
Tabela 3 - Composição dos traços base	75
Tabela 4 - Propriedades das argamassas no estado fresco	76
Tabela 5 - Resistência à tração na flexão	76
Tabela 6 - Resistência à compressão em CPs prismáticos	77
Tabela 7 - Valores para cálculo do traço de referência	78
Tabela 8 - Traço de referência	79
Tabela 9 - Argamassas Confeccionadas	80
Tabela 10 - Consumo de materiais	80
Tabela 11 - Resultado dos ensaios das argamassas em seu estado fresco	81
Tabela 12 - Resultado dos ensaios de Condutividade Térmica	89
Tabela 13 – Classificação das argamassas estudadas	90

LISTA DE ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AB – Areia de Britagem
ALV – Alvenaria
AN – Areia Natural
ANOVA – Análise de Variância
ARG – Argamassa
ASTM - American society for testing and materials
BS - British Standards
BET - Betuminoso
CER - Cerâmica
CP – Corpo de Prova
CV – Coeficiente de Variação
DP – Desvio Padrão
FEB – Faculdade de Engenharia de Bauru
NBR – Norma Brasileira
ND - Não Definido
RCD - Resíduo de Construção e Demolição
RES – Resistência
RILEM - Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux

Sumário

RESUMO	i
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	iii
LISTA DE QUADROS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
1 INTRODUÇÃO.....	14
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Geral.....	17
1.2.2 Específicos	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Classificação das argamassas	18
2.1.1 Requisitos para argamassas de revestimento	19
2.1.2 Argamassas para revestimento	21
2.2 Agregados miúdos para argamassa	23
2.3 Características das argamassas no estado fresco	24
2.3.1 Plasticidade, consistência e trabalhabilidade.....	24
2.3.2 Coesão	27
2.3.3 Densidade de massa e teor de ar incorporado	27
2.4 Características das argamassas no estado endurecido	29
2.4.1 Densidade de massa	30
2.4.2 Resistência à compressão e à tração na flexão	30
2.4.3 Resistência de Aderência à tração	32
2.5 Metodologias para dosagem de argamassa	35
2.5.1 Selmo (1989)	35
2.5.2 Selmo e Helene (1991)	36
2.5.3 Lara et al. (1995)	37
2.5.4 Carneiro e Cincotto (1999).....	38
2.5.5 Gomes e Neves (2002).....	39
2.5.6 Rede simplex	40
2.5.7 Santos et al. (2018).....	41
2.5.8 Prescrições normativas para a dosagem das argamassas.....	41
2.5.9 Considerações sobre as metodologias de dosagem	42
2.6 Incorporação de materiais alternativos na argamassa	42
2.6.1 Incorporação de areia de britagem na argamassa	42
2.6.1.1 Finos de britagem	42
2.6.1.2 Rochas de basalto	45
2.6.1.3 Rochas de calcário	46
2.6.1.4 Rochas de diferentes litologias	47
2.7 Síntese dos estudos sobre incorporação de areia de britagem na arg.	48
2.8 Propriedades térmicas em argamassas.....	52
2.8.1 Desempenho térmico do revestimento argamassado em paredes	53
3 METODOLOGIA	54

3.1 Método para pesquisa bibliográfica	54
3.2 Caracterização dos materiais	57
3.2.1 Aglomerantes	57
3.2.2 Agregados miúdos	58
3.2.3 Composição granulométrica dos agregados miúdos	59
3.3 Definição do traço através do método de Santos et al. (2018)	60
3.3.1 Quantidade de agregado	61
3.3.2 Quantidade de água	61
3.3.3 Quantidade de aglomerantes.....	61
3.3.4 Definição do traço de referência (TR)	62
3.4 Produção e ensaios das argamassas	63
3.4.1 Ensaios das argamassas no estado fresco	63
3.4.1.1 Densidade de Massa e Teor de ar incorporado	63
3.4.1.2 Índice de consistência.....	64
3.4.2 Ensaios das argamassas no estado endurecido	66
3.4.2.1 Absorção de água e Coeficiente de Capilaridade	66
3.4.2.2 Resistência à tração na flexão	67
3.4.2.3 Resistência à compressão	67
3.4.2.4 Resistência de aderência à tração.....	68
3.4.2.5 Condutividade térmica	69
3.5 Análise estatística	71
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	73
4.1 Caracterização dos agregados	73
4.1.1 Composição granulométrica	73
4.1.2 Teor de material pulverulento	74
4.1.3 Massa unitária e massa específica.....	75
4.2 Estudo de dosagem	76
4.2.1 Caracterização das argamassas no estado fresco	76
4.2.2 Caracterização das argamassas no estado endurecido	77
4.2.3 Resistência à tração na flexão	77
4.2.4 Resistência à compressão em corpos de prova prismáticos	77
4.2.5 Resultados do processo de dosagem e definição do traço de referência (TR).....	78
4.3 Avaliação da argamassa.....	81
4.3.1 Resultados dos ensaios nas argamassas no estado fresco	82
4.3.2 Resultados dos ensaios nas argamassas no estado endurecido	83
4.3.2.1 Ensaio de resistência à tração na flexão	83
4.3.2.2 Ensaio de resistência à compressão	84
4.3.2.3 Ensaio de Capilaridade.....	85
4.3.2.4 Ensaio de Massa Específica no Estado Endurecido	87
4.3.2.5 Ensaio de Aderência à Tração.....	88
4.3.2.6 Avaliação da condutividade térmica.....	89
4.4 Classificação das argamassas	90
5 CONSIDERAÇÕES	92

REFERÊNCIAS	95
Apêndices	111
Apêndice A - Ensaios de resistência à tração na flexão	112
Apêndice B - Ensaios de resistência à compressão	114
Apêndice C - Ensaios de resistência de aderência à tração	117
Apêndice D - Cálculos estatísticos ANOVA e Tukey	118

1 INTRODUÇÃO

Os agregados usados na construção civil são os insumos minerais mais consumidos em todo mundo. A indústria da construção civil utiliza cerca de 50% dos recursos minerais produzidos no mundo, sendo muitos desses recursos, não renováveis. Os produtos dessas atividades mais utilizados na construção civil são cimento, cal e os agregados miúdos (areia) e graúdos (brita) (GUACELLI, 2010).

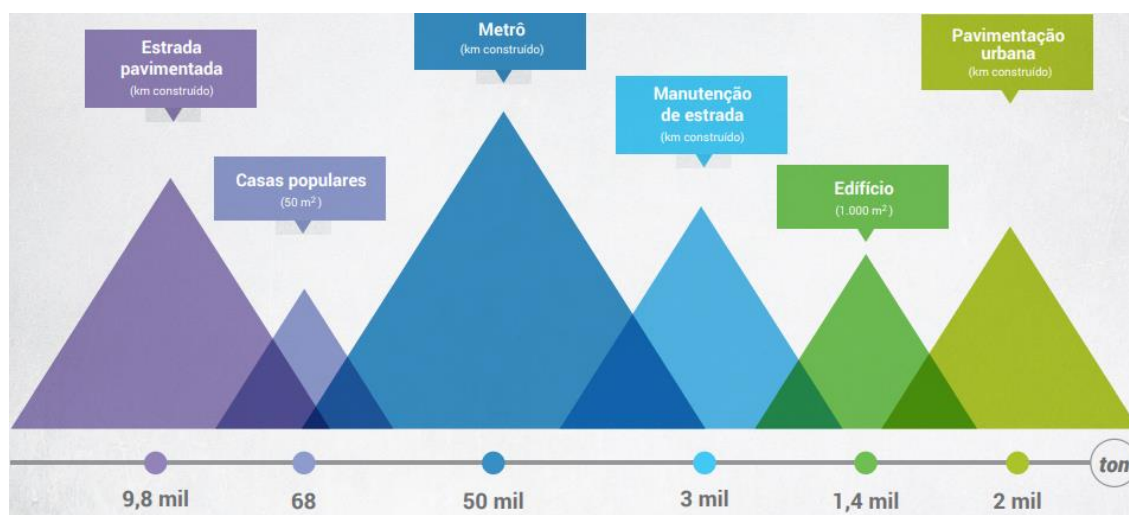
Como os agregados são recursos naturais, sua extração quase sempre fica longe do local de sua utilização e somado o fato dos órgãos de fiscalização ambiental serem cada vez mais restritivos quanto a outorga de novas jazidas, o preço final dos agregados inclinam ser cada vez mais alto e sua disponibilidade cada vez mais escassa (VALVERDE, 2001).

A extração da areia natural está cada vez mais complexa devido às legislações municipais e estaduais, que seguem as diretrizes da Lei nº. 12.651, de 2012, que regulamenta o uso e recuperação de leitos de rios e várzeas, em relação aos recursos naturais disponíveis. A preocupação com o meio ambiente e a busca de materiais alternativos atinge todos aqueles que sabem que essas reservas são escassas e algumas delas não são renováveis (TOKARSKI, 2017).

As restrições à extração de areia natural não reduzem, no entanto, a necessidade de seu uso, uma vez que levantamentos estatísticos mostram um alto consumo sustentado desse agregado no Brasil. A demanda por alternativas que possam substituí-las com eficiência e qualidade passa pelo processo de conscientização de pesquisas e estudos para encontrar alternativas técnicas e econômicas certas (LA SERNA E REZENDE, 2009).

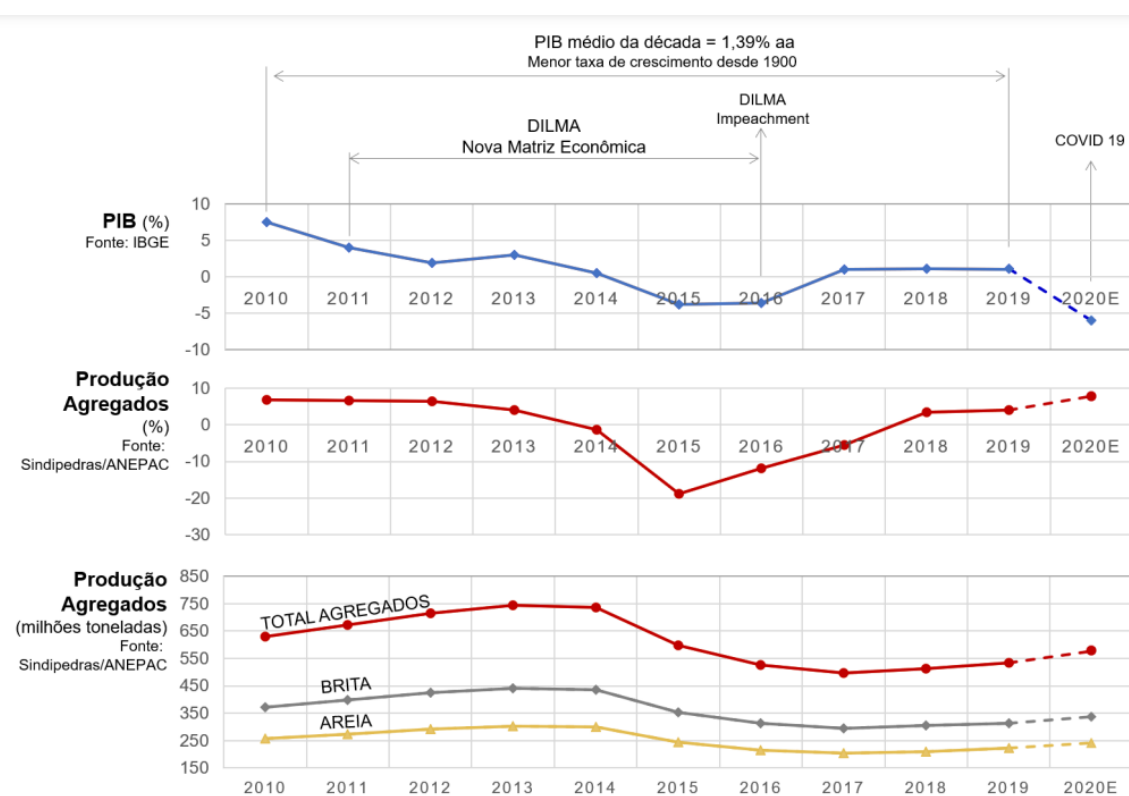
No Brasil o crescimento do PIB (Produto Interno Bruto) está relacionado diretamente ao setor da construção civil, sendo este, o setor de maior geração de postos de trabalho. O consumo de recursos minerais na construção civil está ligado diretamente ao crescimento da demanda por bens e serviços e ao crescimento populacional. A Figura 1 mostra o consumo médio de agregado para diversas obras, mostrando o papel social dos agregados, enquanto a Figura 2 traz os dados da produção brasileira de agregados, mostrando como essa produção está diretamente ligada ao PIB brasileiro. (BRASIL MINERAL, 2020).

Figura 1 – O papel social dos agregados



Fonte: ANEPAC (2015).

Figura 2 – Produção de agregados comparado com o PIB



Fonte: Brasil Mineral (2020).

Arnold e Kazmierczak (2009) e Diógenes (2016) explicam que a inquietação com o emprego dos recursos naturais tem solicitado 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. De tal modo, esse setor, reconhecendo a importância das questões ambientais, tem

procurado encontrar soluções que sejam capazes de combinar crescimento econômico e preservação ambiental, conforme mencionam Coelho e Brito (2011), Santos *et al.* (2012), Mattana *et al.* (2012), Oliveira *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2014).

Para Briggs e Evertsson (1998), o setor da construção está buscando o aproveitamento de materiais alternativos provenientes de subprodutos em outros processos, com o propósito de promover a diminuição de custos, a celeridade de execução, a durabilidade e a melhoria das propriedades do produto final, a fim de reduzir a extração dos recursos naturais.

Segundo Guacelli (2009), Rosa (2013) e Diógenes (2016), dentre os materiais alternativos estudados tem se destacado a areia de britagem, que é produzida como subproduto obtido pelos trituradores da pedra utilizada na construção civil como agregado graúdo para fabricação do concreto. De acordo com 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 Diógenes (2016), a areia de britagem também é conhecida como agregado miúdo de pedra britada, pó-de-pedra ou areia artificial.

A areia de britagem tem sido aproveitada na pavimentação com concreto e em vários tipos de elementos pré-moldados como os blocos para vedação, estruturais e para pavimentação além da fabricação de asfalto (BRAGA, BRITO E VEIGA, 2012). Também, pode-se utilizar areia de britagem em concretos e argamassas, pois seu uso traz benefícios ao meio ambiente como a diminuição do uso da areia natural e a redução do impacto ambiental.

Fiorito (2013) afirma que é muito importante a compreensão do comportamento das argamassas às diversas solicitações para que seja viabilizado a sua utilização. Nesse contexto, essa pesquisa buscou estudar 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 importância desta pesquisa está em razão da necessidade da redução do consumo da areia natural, visando principalmente, diminuir o impacto ambiental. A pesquisa do uso de areia de britagem em argamassa de revestimento, produto largamente usado na construção

civil, podendo contribuir para desenvolvimento tecnológico de novos materiais para composição das argamassas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Avaliar a influência da substituição de areia natural por areia de britagem de rochas basálticas nas propriedades físico-mecânicas e térmicas em argamassas de revestimento.

1.2.2 Específicos

- Avaliar quais curvas granulométricas da combinação entre areia natural e areia de britagem proporciona o melhor desempenho das argamassas produzidas com substituição de areia natural por areia de britagem provinda de pedreiras da região de Bauru/SP.

- Analisar os requisitos gerais de desempenho das argamassas produzidas por meio de ensaios normatizados em seu estado fresco e endurecido.

- Avaliar se a substituição de areia natural por areia de britagem na produção de argamassas de revestimento interfere na capacidade do material de transferir calor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados com a produção de argamassa, classificação das argamassas, metodologia para dosagem, além de avaliações sobre a incorporação de areia de britagem em argamassas.

2.1 Classificação das argamassas

A norma NBR 13281 (ABNT, 2005) classifica e define os tipos de argamassas pelo seu emprego e sua aplicação como:

1) 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.

2) 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.

3) Argamassa de uso geral:

- Indicada para assentamento de alvenaria sem função estrutural e revestimento de paredes e tetos internos e externos.

4) Argamassa para reboco:

- Indicada para cobrimento de emboço, propiciando uma superfície fina que permita receber o acabamento. Também conhecido como massa fina.

5) *Argamassa decorativa de camada fina:*

- Indicada para revestimentos com fins decorativos, em camada fina.

6) *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.

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 eles, 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 (FIORITO, 2009).

2.1.1 Requisitos para argamassas de revestimento

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas destinadas ao assentamento de paredes ou ao revestimento de paredes e tetos devem cumprir os requisitos estabelecidos, sendo classificadas conforme as características e propriedades que apresentam nos ensaios. Os valores são mostrados nos Quadros 1 a 6

Quadro 1 - Resistência à compressão

Classe	Resistência à compressão (MPa)	Método de ensaio
P1	$\leq 2,0$	ABNT NBR 13279 (2005)
P2	1,5 a 3,0	
P3	2,5 a 4,5	
P4	4,0 a 6,5	
P5	5,5 a 9,0	
P6	$> 8,0$	

Fonte: Autor (2022).

Quadro 2 - Resistência à tração na flexão

Classe	Resistência à tração na flexão (MPa)	Método de ensaio
R1	$\leq 1,5$	ABNT NBR 13279 (2005)
R2	1,0 a 2,0	
R3	1,5 a 2,7	
R4	2,0 a 3,5	
R5	2,7 a 4,5	
R6	$> 3,5$	

Fonte: Autor (2022).

Quadro 3 - Coeficiente de capilaridade

Classe	Coeficiente de Capilaridade (CC)	Método de ensaio
C1	$\leq 1,5$	ABNT NBR 15259 (2005)
C2	1,0 a 2,5	
C3	2,0 a 4,0	
C4	3,0 a 7,0	
C5	5,0 a 12,0	
C6	$> 10,0$	

Fonte: Autor (2022).

Quadro 4 - Densidade de massa aparente no estado endurecido

Classe	Densidade de massa aparente no estado endurecido (Kg/m³)	Método de ensaio
M1	≤ 1200	ABNT NBR 13280 (2005)
M2	1000 a 1400	
M3	1200 a 1600	
M4	1400 a 1800	
M5	1600 a 2000	
M6	> 1800	

Fonte: Autor (2022).

Quadro 5 - Densidade de massa no estado fresco

Classe	Densidade de massa no estado fresco (Kg/m³)	Método de ensaio
D1	≤ 1400	ABNT NBR 13278 (2005)
D2	1200 a 1600	
D3	1400 a 1800	
D4	1600 a 2000	
D5	1800 a 2200	
D6	> 2000	

Fonte: Autor (2022).

Quadro 6 - Resistência potencial de aderência à tração

Classe	Resistência potencial de aderência à tração (MPa)	Método de ensaio
A1	< 0,20	ABNT NBR 15258 (2019)
A2	≥ 0,20	
A3	≥ 0,30	

Fonte: Autor (2022).

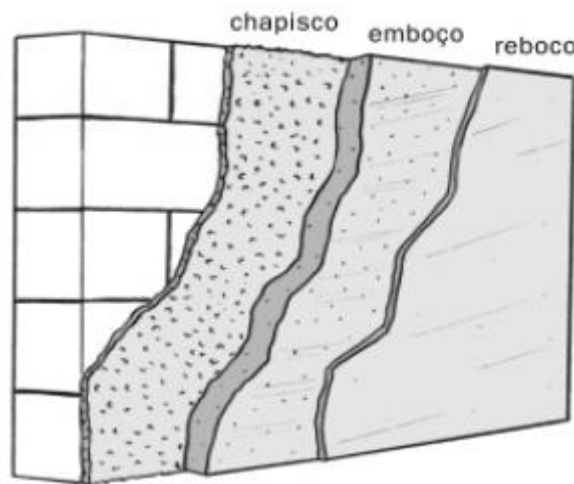
2.1.1 Argamassas para revestimento

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 argamassa de revestimento são equivalentes.

Segundo Carasek (1996), as argamassas clássicas para revestimento são compostas 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) diz 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.

Carneiro e Cincotto (1999) afirmam que as características finais das argamassas de revestimentos dependem da forma de sua aplicação. É comum a aplicação do revestimento argamassado em três camadas distintas, como ilustrado na Figura 3. Contudo, devido à racionalização e a diminuição de custos na construção civil, tem sido desenvolvidos sistemas de revestimento de chapisco mais camada única, juntando o emboço e o reboco em uma única camada. Essa forma é chamada também de reboco paulista.

Figura 3 - Camadas do revestimento em argamassa



Fonte: ABCP (2004).

Essas camadas desempenham funções diferentes. A primeira camada, o chapisco, tem a função de garantir uma boa aderência do revestimento ao substrato além de homogeneizar a absorção do substrato principalmente quando este é muito poroso. A segunda camada tem a função de assegurar a verticalidade e a regularidade do conjunto além de ajudar na impermeabilização. A última camada, o reboco, tem como papel, a proteção das camadas anteriores, bem como conferir um acabamento adequado a superfície.

Bauer (2005), Carasek (2007) e Cincotto et al. (2007) afirmam que as argamassas de revestimento desempenham um papel de suma importância no setor da construção civil, como a vedação de um edifício, apresentando algumas funções consideradas essenciais como proteger as paredes 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, aumentando a durabilidade e reduzindo os custos de manutenção dos edifícios.

Os autores supracitados mencionam também que as argamassas de revestimento cumprem ainda outras funções, sendo elas: isolamento termoacústico, estanqueidade à água e aos gases, segurança ao fogo e acabamento, contribuindo para funções estéticas e de valorização da edificação.

2.2 Agregados miúdos para argamassa

O Brasil carece de uma norma específica para a caracterização de agregados miúdos para argamassas, sendo comum o uso da ABNT NBR 7211:2009 que dedica a especificação de agregados para concretos. Essa norma define o agregado miúdo como sendo uma areia de origem natural ou fruto do britamento de rochas ou ainda a mistura de ambas, desde que os grãos passem pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e fiquem retidos na peneira com malha de 150 μ m (DIÓGENES, 2016).

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

Os agregados miúdos são muito empregados na construção civil para composição de argamassas e concretos. Para Carasek (2007), a areia é um componente da argamassa que dá coesão, textura e cor. Ela precisa encontrar-se sem impurezas, tais como: matéria orgânica, carvão, sais solúveis, argila, mica ou outros materiais externos. Entretanto essas impurezas podem ser retiradas com o peneiramento e a lavagem da areia, evitando assim problemas futuros.

Falcão Bauer (2008) menciona que o uso de agregados miúdos na produção de argamassas deixa 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 em suas características. Com base nisso e para o alcance da análise quantitativa e da distribuição de tamanhos dos grãos do agregado é necessário um estudo granulométrico, com base na norma da ABNT NBR 248:2003.

Conforme Cincotto, Silva e Cascudo (1995), a distribuição granulométrica, o módulo de finura e a dimensão máxima do agregado miúdo, afetam diretamente no comportamento das argamassas interferindo nas suas propriedades tanto no estado fresco como no estado endurecido. A norma ABNT NBR 7211:2009 classifica o agregado miúdo em zonas utilizáveis e ótimas. Selmo (1989) recomenda seguir os intervalos do módulo de finura (MF) para a classificação dos agregados miúdos conforme o Quadro 7.

Quadro 7 - Módulo de Finura 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).

2.3 Características das argamassas no estado fresco

As argamassas para revestimentos apresentam diferentes propriedades. A seguir são apresentadas as propriedades no estado fresco consideradas mais importantes para que a argamassa possa cumprir suas funções.

2.3.1 Plasticidade, consistência e trabalhabilidade

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 Guacelli (2009), a consistência está ligada 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.

Heineck (2012) relata que a argamassa é classificada de acordo com sua consistência de 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 Ishikawa (2009), a consistência da argamassa pode ser afetada pelo teor de água, pela forma, textura e granulometria dos agregados utilizados na sua confecção. Mello (2011) complementa que essa propriedade também é influenciada pelo teor de ar incorporado na argamassa, pela quantidade, pelo tipo de aglomerantes.

A ABNT NBR 13276:2005 apresenta os procedimentos para a determinação do índice de consistência, que serve de parâmetro para argamassa industrializada ou feita na obra.

A plasticidade é a propriedade pela qual à argamassa tende a deformar-se sem ruptura, mantendo a deformação depois de retirado o esforço (13-MR/RILEM, 1982). Cincotto, Silva e Cascudo (1995) dizem que para se obter uma plasticidade adequada, em cada mistura é necessária uma quantidade de água ótima, de maneira a obter-se uma boa trabalhabilidade, entretanto 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 Canova (2018), deve-se utilizar os finos de forma adequada para a confecção de argamassas atentando-se para que não interfira no aumento do consumo de aglomerantes, de água e no custo de produção. O mesmo autor ainda destaca que o percentual de finos passante pela peneira 0,075 mm influenciam na plasticidade e na consistência das argamassas.

Carasek et al. (2016) destaca que para se obter melhor trabalhabilidade e maior plasticidade à argamassa é preciso o uso da cal ou algum aditivo plastificante. A autora ainda menciona que devido a cal ser um material muito fino e com uma grande área específica faz ela agir como um lubrificante sólido entre os grãos. Fiorito (2013) complementa que o uso de cal na argamassa a torna fácil de espalhar, sem separação de água ou segregação do material sólido da mistura.

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 (TOKARSKI, 2017). 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). Ainda conforme Tokarski (2017), a trabalhabilidade é uma propriedade complexa e de suma importância para

as argamassas e pode ser caracterizada pela consistência e plasticidade que a argamassa apresenta.

Tristão (2005) esclarece que a trabalhabilidade ideal se dá quando a argamassa tende a se espalhar facilmente e a continuar plástica por um tempo satisfatório até que a aplicação seja terminada. Sousa (2005) explica que o grau de trabalhabilidade está relacionado com a leveza das argamassas. Dessa forma, é possível diminuir o esforço do operário ao aplicar a argamassa, aumentando sua produtividade.

De acordo com 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).

Segundo Angelim et al. (2003), a granulometria da areia influencia na trabalhabilidade, na porosidade da argamassa e no consumo de água e aglomerantes. Neto (2012) explana que a forma lamelar dos grãos das areias produz 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. (2005) afirmam que os aditivos plastificantes trazem um ganho na trabalhabilidade das argamassas e são empregados para diminuir a quantidade de água na mistura. Casali et al. (2003) e Polito et al. (2008) explicam que a cal é outro elemento utilizado para melhorar a trabalhabilidade, contudo tem como desvantagem a redução da resistência de aderência a tração.

Sabbatini (1994) esclarece que uma argamassa mista de cimento e cal hidratada tende a agir como lubrificante sólido envolvendo os grãos da areia, facilitando o espalhamento e melhorando a trabalhabilidade da argamassa. Por isso a utilização da cal na argamassa contribui para a homogeneidade e facilita a trabalhabilidade (ROSA, 2013).

2.3.2 Coesão

Recena (2012) define que a coesão é a união dos materiais mais finos da argamassa. Dessa forma, Miranda e Selmo (1999) afirmam que o cimento, a areia e os materiais aglomerantes utilizados para a produção de argamassas que apresentam partículas menores que 0,075 mm, são os responsáveis por promoverem a plasticidade e a coesão na argamassa.

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, existe um afastamento das partículas, ocasionando perda de coesão, gerando segregação.

Rago e Cincotto (1995) dizem que a utilização da cal na argamassa contribui para o aumento da coesão entre as partículas sólidas. Os autores ainda explicam que as areias contribuem para fornecer a coesão nas argamassas de cal, pois os grãos de areia em contato com o ligante contribuem para a separação das partículas de cal beneficiando a carbonatação.

2.3.3 Densidade de massa e 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; 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.

Mattana et al. (2012) afirmam que quanto menor o valor mais se economiza material, porém valores muito baixos 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 compacidade 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) afirma 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) mostram em seus estudos 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) demonstram 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 kg/dm³ e teor de ar variando entre 3,5% a 3,9%. Já a argamassa do segundo traço, apresentou massa específica 1,950 kg/dm³ 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.

2.4 Características 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.

2.4.1 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.

2.4.2 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) afirma 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; CINCOTTO, 2004; MEHTA; MONTEIRO, 2006; 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) diz 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 ela.

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 interfere 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 propicia 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 NBR 13279 (ABNT, 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.

2.4.3 Resistência de Aderência à tração

A 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) afirmam 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; FRANCO, 1998; CORTEZ, 1999). Além dessas, Veiga (1997) resalta 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; 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 dela.

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.

Para 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 maior 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.

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, ela 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 absorvida 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 influencia na resistência de aderência de um revestimento. Carasek et al. (2001) asseguram 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 NBR 13749 (ABNT, 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.

2.5 Metodologias para dosagem de argamassa

2.5.1 Selmo (1989)

O princípio do Método de dosagem de Selmo (1989) consiste em dosar o teor ótimo de material plastificante, ou seja, finos, que seriam provenientes da cal ou de

outra adição mineral como o saibro, o filito ou pó calcário. É um método experimental e consiste em montar curvas de correlação entre os teores de areia + plastificante versus cimento. Nesta metodologia, quanto mais baixas as curvas, mais ricos são os traços, ao passo que, quanto mais altas, mais pobres e porosos eles serão.

O procedimento de dosagem consiste em se encontrar experimentalmente a mínima quantidade de material fino capaz de plastificar a argamassa (necessita de experiência) e a mínima quantidade de água necessária para dar a fluidez adequada, garantindo a obtenção de argamassas trabalháveis. A partir disto, elaboram-se pelo menos três traços de modo a obter pelo menos três pontos da curva dos gráficos de trabalhabilidade: “E” versus “finos plastificantes/cimento” e “E” versus água/cimento.

Retiram-se então dos gráficos os teores mínimos de plastificante e de água necessários para cada relação (areia+plastificante)/cimento, segundo os materiais disponíveis. Ressalta-se que o teor de finos varia em função da natureza e as características do material empregado como plastificante: cal, argila ou fíler calcário, além de ser influenciado também pelas características da areia.

O autor destaca que se deve aplicar as argamassas em painéis de no mínimo 2 m², com as mesmas condições da obra: tipo e preparo do substrato, condições climáticas, equipamentos de mistura e aplicação, etc. Ele ressalta que durante a aplicação, deve-se avaliar a facilidade de mistura, a trabalhabilidade (exsudação, adesão inicial, facilidade de aplicação, coesão) e o tempo necessário para sarrafear e desempenar a argamassa.

2.5.2 Selmo e Helene (1991)

Este método é uma “evolução” do método de dosagem de Selmo (1989) e consiste em dosar o teor ótimo de material plastificante, ou seja, finos, que seriam provenientes da cal ou de outra adição mineral como o saibro, o filito ou pó calcário, conforme as relações: agregado + cal/cimento e areia/finos de modo a caracterizar medidas das propriedades no estado fresco (consistência) e/ou no estado endurecido (resistência à compressão, tração por compressão diametral e

aderência) de modo a identificar o traço mais adequado ao uso nos devidos locais, levando em consideração ambos os conceitos.

É um método experimental e consiste em montar curvas de correlação entre os teores de materiais envolvidos no processo e, além disso, tem como argumento a avaliação das propriedades das argamassas, logo, se mostra mais adequada à realidade das construções.

2.5.3 Lara et al. (1995)

O Método de dosagem de Lara et al. (1995) se baseia nos seguintes fatores: traço unitário (relação 1:m), teor limite de finos por m^3 ($< 0,074 \text{ mm}$), no consumo de água (retirado do gráfico $m \times$ consumo de água l/m^3), para argamassas mistas de cimento: cal: areia, aditivadas ou não. A seguir é apresentada uma síntese deste método de dosagem de argamassas mistas, conforme exposto pelos autores:

- Primeiramente define-se o traço básico, sendo: chapisco (1:2 a 1:4); revestimento interno (1:8 a 1:12) e externo (1:5 a 1:8) e assentamento (1:8 a 1:12). Ressalta-se que a relação corresponde a cimento e (cal + areia). Quanto mais resistente se precisar da argamassa menor deve ser a relação. Ressalta-se que os autores apresentam que para se definir a quantidade de agregado pode-se basear nos traços sugeridos ou na experiência do construtor.

- Em um segundo momento, especifica-se o teor máximo de finos (cimento + cal + finos da areia) em função da aderência desejada, sendo alta = 550kg de finos / m^3 de argamassa; média = 500kg de finos/ m^3 de argamassa e baixa = 450kg de finos/ m^3 de argamassa.

- O terceiro passo, escolhe-se o tipo de areia (Módulo de Finura – MF) em função do processo de aplicação do revestimento interno ($1,60 < MF < 2,00$), externo ($1,80 < MF < 2,20$) e/ou contrapiso ($2,20 < MF < 2,60$);

- Segue-se com a definição da consistência através da mesa de espalhamento, sendo adotada para revestimento ($300 \pm 15 \text{ mm}$) e para piso ($180 \pm 10 \text{ mm}$);

- É indicado que se podem adotar os valores médios das variáveis da dosagem: massa específica real do cimento = $3,15 \text{ kg/dm}^3$, massa específica real da

cal (alta em cálcio = 2,30kg/dm³; dolomítica altamente hidratada = 2,50kg/dm³ ou dolomítica normal = 2,80kg/dm³), massa específica real da areia = 2,60kg/dm³, massa específica real da água = 1,00 kg/dm³, massa unitária do cimento = 1,40 kg/dm³, massa unitária da cal = 0,50 kg/dm³, massa unitária da areia seca = 1,50kg/dm³, teor de material pulverulento da areia lavada = 3%.

- Inicia-se o cálculo do traço com a estimativa do consumo de água, adotando-se como consistência o valor de (300±15) mm.

- O cálculo do fator água/cimento pode ser obtido pela expressão da Equação 2.1:

$$a / c = C_{\text{água}} \frac{\frac{\text{cimento}}{\gamma_{rc}} + \frac{\text{areia}}{\gamma_{ra}}}{1000 - C_{\text{água}}} \quad (2.1)$$

Onde:

a/c: Fator água/cimento

C_{água}: Consumo água (Tabelado)

Cimento: proporção de cimento

Areia: proporção de areia

Pode-se encontrar o consumo de areia inicial multiplicando o consumo de cimento pela correlação inicial de areia presente no traço básico. O cálculo do teor de cal é obtido pela multiplicação dos finos faltantes ((finos da aderência) – (finos do cimento + finos da areia)) pela razão entre a massa específica real da cal e da areia.

2.5.4 Carneiro e Cincotto (1999)

Este método se baseia na adequação da curva granulométrica do agregado miúdo para aumento da eficiência das argamassas. Os autores constaram que, variando a granulometria do agregado, é permitido aumentar o teor de finos inertes em substituição ao cimento sem o aumento do teor de água.

A metodologia consiste em obter curvas granulométricas para as argamassas (e não somente da areia) sob a utilização do cálculo matemático (Equação 2.2) do somatório de uma progressão geométrica de diâmetros

$$S_n = A(1-P_m)/(1-P_r) \quad (2.2)$$

Onde:

A = primeiro passo do somatório, correspondente à quantidade de material retido na peneira de abertura máxima, logo abaixo da peneira de abertura máxima característica;

P_r = é a razão entre os retidos em cada peneira, sendo que nunca poderá ser igual a 1 e;

N = é o número de peneiras da série adotada que pode ser as séries de peneiras normal, com razão de abertura da malha 1,19 e a principal, com a razão de abertura da malha 1,41 da ABNT NBR ISO 3310:2010 ou ainda a série da ABNT NBR 7211:2009 da razão de abertura de malha 2.

Para desenvolver o estudo os autores elaboram três traços e estudaram os ajustes através da fixação de algumas razões, como por exemplo, materiais finos/grossos buscando proporções nas quais P_r estejam acima de 0,7.

A partir da formulação teórica das curvas granulométricas obtêm-se as relações aglomerantes/agregados, considerando-se como aglomerante toda a fração de material passante na # 200 (0,075 mm) e como agregado as frações de material retido calculado nas peneiras acima e inclusive a # 200. A determinação dos traços em massa pode ser obtida por álgebra elementar, através das proporções dos materiais nas curvas granulométricas.

2.5.5 Gomes e Neves (2002)

Este método se baseia no uso de plastificantes à base de argilas (materiais da região de salvador – caulim e arenoso) e tem como parâmetros normativos básicos o teor máximo de finos (< 0,075 mm) do agregado de 7%; a máxima relação entre adição plastificante e total de agregado de 35%; consumo de cimento especificado em projeto e características da argamassa no estado fresco (índice de consistência (flowtable) de 260±10 mm, teor de ar incorporado entre 8% e 17% e retenção de água superior a 75%).

O consumo de água, segundo o autor, varia muito de uma região para outra e em relação aos materiais e teores destes nas argamassas, sendo necessário avaliá-lo em laboratório. Indica-se como primeira estimativa o valor de 285 l/m³ de

argamassa. O autor descreve em seu trabalho que a metodologia permite obter traços de argamassas de boa qualidade e de alta durabilidade.

2.5.6 Rede simplex

A metodologia SIMPLEX corresponde a um modelo matemático que permite obter um conjunto de traços que norteiam as características desejadas, seja no estado fresco (consistência) ou no estado endurecido (resistências, durabilidade).

São várias simulações no modelo e a quantidade de traços amostrais necessários. Ressalta-se que as simulações permitem obter traços próximos do traço que realmente se deseja, sendo que a obtenção final deste traço se dá de forma experimental.

Destefani e Holanda (2011) utilizaram este processo experimental em rede simplex no estudo de aproveitamento/incorporação de resíduos de rochas ornamentais com fíler para obtenção de máxima compacidade. Estes identificaram grande eficiência do método que permitiu compreender toda a gama de opções para os materiais envolvidos e permitiu ainda identificar qual o melhor proporcionamento para o caso em questão.

Bahiense et al. (2008) também utilizaram esta forma de planejamento experimental na incorporação de resíduos da indústria cerâmica em argamassas para a obtenção de capacidade de retenção de água. A partir de ensaios de caracterização foram tomados dez pontos experimentais cujos teores máximos de cimento, areia e resíduo cerâmico foram 20%, 80% e 20% em massa, respectivamente, delimitando a superfície de resposta para as argamassas de índice de consistência 265 ± 30 mm.

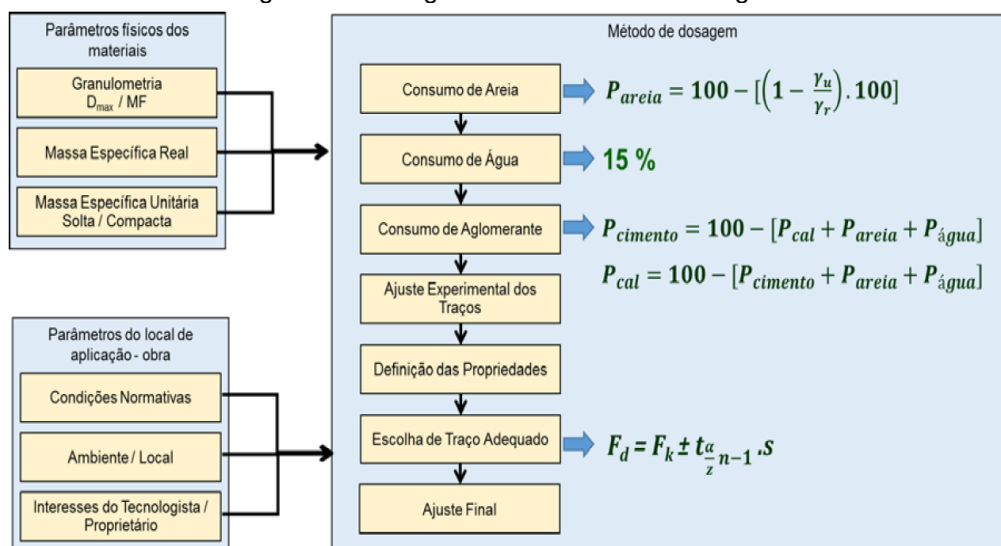
Este índice mostrou-se mais próximo da aplicação real para o modelo estatístico, porém, pouco acima do valor normalizado. Constataram que o modelo em rede simplex cúbico especial mostrou melhor ajuste aos resultados experimentais, estimando respostas estatisticamente mais adequadas para as misturas. Perceberam ainda que a capacidade de retenção de água da argamassa foi de 88 a 94,5% resposta da simulação, classificando-a como normal e alta, segundo a norma ABNT NBR 13281:2005, ou seja, mesmo com valor superior ao

índice de consistência padrão (valor acima do estabelecido por norma), conseguiu-se uma capacidade de retenção padronizada com adição de resíduo na argamassa.

2.5.7 Santos et al. (2018)

Santos et al. (2018) utilizaram areia de britagem de gnaiss para desenvolver um método de dosagem do traço ideal para argamassas de revestimento, segundo os parâmetros da NBR 13281 (ABNT, 2005d). Os autores concluíram que a metodologia proposta foi eficiente e permitiu confeccionar argamassas com boa qualidade, conforme a Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do método de dosagem



Fonte: SANTOS et al. (2018)

Na progressão aos estudos de dosagem, Santos et al. (2019) buscaram estudar a composição de argamassas de revestimento e assentamento fabricadas com areia de britagem de gnaiss e areia natural quartzosa, sob análise de um processo de dosagem mais eficiente, com relação ao estudo anterior desenvolvido por Santos et al. (2018). Os autores perceberam que o tipo de agregado influencia significativamente nas propriedades das argamassas e ao aplicar método desenvolvido anteriormente é possível desenvolver argamassas com agregados naturais tanto para os agregados artificiais de britagem.

2.5.8 Prescrições normativas para a dosagem das argamassas

Segundo Isaia (2010) a ABNT NBR 7200:1982 em vigor até 1998 apresentava alguns traços de acordo com o local de aplicação.

Contudo a partir desta data a nova versão, ABNT NBR 7200:1998 não apresenta mais proposições de traços, deixando a cargo dos pesquisadores e tecnologistas o desenvolvimento da dosagem destes compósitos.

2.5.9 Considerações sobre as metodologias de dosagem

Considerando que o estudo de dosagem de argamassa é uma tarefa desafiadora e tendo em vista que não existe um método consolidado como é o caso das metodologias para dosagem de concreto, utilizou-se para este trabalho a metodologia de Santos et al. (2018).

Esta metodologia foi escolhida devido ao fato de ser a mais atual encontrada no referencial teórico sobre o tema, além de ser a única que foi desenvolvida com base em areia de britagem, tanto pura, quanto misturada com areia natural.

2.6 Incorporação de materiais alternativos na argamassa

A aplicabilidade de materiais alternativos à areia natural na produção de agregados está ligada à quantidade disponível, origem do material e às propriedades físico-químicas e mecânicas, que variam de acordo com a composição do resíduo (GIRARDI, 2016).

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.

2.6.1 Incorporação de areia de britagem na argamassa

2.6.1.1 Finos de britagem

Kazmierczak et al. (2016) adicionaram finos de britagem (fíler) em argamassas de revestimento, para isso utilizaram um traço de argamassa na proporção 1:1:6 e observaram que ao se adicionar 10% de finos de britagem,

provenientes de rochas basálticas, tem-se uma argamassa de revestimento trabalhável, com maior resistência mecânica, menor exsudação, absorção de água e menor índice de vazios na argamassa já endurecida, além de uma retração dentro dos limites aceitáveis. A adição de finos de britagem nas argamassas melhora a trabalhabilidade e permite reduzir o teor de água para obter a consistência determinada no ensaio de espalhamento. Porém, essa adição provoca alterações reológicas na mistura (não detectáveis no ensaio de espalhamento) com redução significativa da carga necessária para deformar a argamassa, que pode ser detectada no ensaio de Squeeze-flow. As misturas testadas mostraram uma diferença clara na trabalhabilidade das misturas, e apenas a mistura de referência (com areia de rio) e a mistura de areia de britagem, com a adição de pelo menos 10% de finos foi considerada adequada.

O aumento do teor de fíler permitiu reduzir o teor de água da mistura, isso provocou um ligeiro aumento da densidade aparente da argamassa fresca e um aumento do teor de ar incorporado na argamassa. Aos 28 dias, o índice de vazios da argamassa com areia britada foi aproximadamente 10% maior do que na argamassa com areia de referência (com índice de vazios de 29,2%) e diminuiu com o aumento de fíler. As argamassas com areia de britagem apresentaram maior resistência à compressão comparativamente a argamassa de referência, evidente para adição com fíler até 20%. O mesmo comportamento foi observado para a resistência à tração na flexão. A retração aumentou com a adição de finos. As argamassas com teor de fíler de 10, 20 e 30%, após a aplicação sobre o substrato cerâmico, apresentaram fissuras visíveis. Os resultados obtidos mostraram que mesmo com o aumento da resistência mecânica e a redução do índice de vazios da argamassa com adição de fíler, o teor de finos deve ser avaliado para garantir que o revestimento esteja livre de trincas. Deve-se notar que a quantidade máxima de finos adicionados depende das propriedades do substrato ao qual a argamassa é aplicada, pois afeta a perda de água da argamassa.

Canova (2017) substituiu o cimento por finos de britagem com diâmetro inferior a 0,075mm, na composição de argamassas de revestimento. Para isso o autor utilizou o traço, em volume, 1:1,5:9 (cimento:cal:areia natural) e estudou a substituição do cimento por finos de britagem nas seguintes porcentagens, em

massa: 2,5, 5, 10, 15 e 20%. Para atingir a consistência houve a necessidade de aumentar a quantidade de água de amassamento à medida que se aumentava o teor de finos de britagem. Por possuírem uma porcentagem de partículas maiores que as do cimento, os finos de britagem, levaram a uma melhora do pacote granulométrico, para as argamassas com as substituições dos teores um pouco acima de 5%. Com isso, a massa específica apresentou acréscimo e houve diminuição no teor de ar incorporado. Para a retenção de água, houve tendência de redução, mas não superior a 1%. No estado endurecido, as propriedades mecânicas apresentaram aumento até os teores de 5% de substituições, embora, entre 5% e 10% ocorrer um rápido decréscimo. Isso é favorável, sobretudo para o módulo de deformação, não interferindo na capacidade de absorver deformações na argamassa. Por sua vez, a absorção de água por imersão e a absorção de água por capilaridade apresentaram aumento com as substituições do cimento por finos de britagem. No entanto, as variações na média ficaram abaixo de 3%. Ao considerar todas as propriedades estudadas Canova (2018) considera que uma porcentagem de substituição entre 5% e 10% do cimento por finos de britagem colabora para a produção de argamassa de revestimento, além de reduzir o consumo de cimento, o que acarreta benefícios ao meio ambiente.

Rosa (2013) teve como objetivo comparar traços de argamassas de revestimento produzidas com areia natural e areia de britagem com adição de finos de britagem em ambas as argamassas. Para esse fim, o autor comparou dez traços de 1:1:6 (cimento:cal:areia), cinco com areia natural e cinco traços com areia de britagem variando o teor de finos de britagem. O autor percebeu que com o aumento da adição de microfinos reduziu-se a quantidade de água necessária em até 1,7% para argamassas com areia natural e até 2,9% para argamassas com areia de britagem para alcançar o índice de consistência de 260 ± 5 mm. Constatou-se visualmente uma redução da exsudação com o aumento do percentual de adição de microfinos na mistura de areia de britagem. Para as argamassas com areia de britagem atingirem a mesma consistência que as argamassas com areia natural, foi necessário mais água, alterando de 12% nas argamassas com maiores teores de microfinos e 17% nas argamassas com menores teores de microfinos.

No estado endurecido, Rosa (2013), notou que a adição do teor de microfinos nas argamassas com areia natural não resultou em ganho de resistência à compressão, enquanto as argamassas com areia de britagem resultaram em ganho na resistência á compressão até o teor de 20% de adição de microfinos. As resistências aos esforços mecânicos têm valores maiores nas argamassas com areia de britagem, e ocorre ganho de resistência a compressão, entre 14% a 32%, dependendo do percentual de microfinos. Ao final o autor afirmou que é viável a produção de argamassa com areia de britagem, adicionando um percentual de 10% de microfinos de britagem.

2.6.1.2 Rochas de basalto

Diógenes (2016) avaliou a viabilidade técnica da substituição de areia natural por areia de britagem, provindas de pedreiras da Região Metropolitana de Fortaleza, para confecção de argamassas de revestimento. Para isso, a autora realizou a substituição da areia natural por areia de britagem nas seguintes porcentagens: 25, 50, 75 e 100%, tendo como referencial uma argamassa confeccionada com 100% de areia natural. No estado fresco a autora notou que o aumento do percentual de areia de britagem reduziu a quantidade de água necessária para obtenção do índice de consistência fixado (245mm). As argamassas com areia de britagem apresentaram menores teores de ar incorporado em comparação com a argamassa produzida com 100% de areia natural, provavelmente, em virtude de maior concentração de material pulverulento encontrados nas areias de britagem. Na avaliação das argamassas no estado endurecido, o autor notou que os valores de resistências à tração na flexão, de compressão e de aderência à tração, apresentaram-se maiores em praticamente todas as argamassas com areia de britagem. Esse fato, ainda segundo a autora, é devido a areia de britagem consumir menos água e apresentar maiores percentuais de finos, contudo a concentração de fração fina favorece para a ocorrência de fissuras. Os melhores resultados alcançados por Diógenes (2016), referem-se à proporção de 25% de areia de britagem e 75% de areia natural, em relação à trabalhabilidade, menor consumo de água e aumento nos valores de resistência mecânica.

Guacelli (2010) desenvolveu um estudo em argamassas de revestimento com substituição da areia natural por areia de britagem de rochas basálticas provenientes

da pedreira do município de Londrina e do distrito de Guaravera, no Estado do Paraná. Foram produzidas quatro misturas para um mesmo traço de argamassa, 1:1:6. Ocorreu a diminuição da água exsudada com o aumento da areia de britagem, segundo o mesmo autor pela presença crescente do material pulverulento contido na areia de britagem e pela redução da água de amassamento. No estado endurecido Guacelli (2010) pondera que a resistência mecânica apresenta valores maiores nas argamassas que são preparadas com areia de britagem. 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.

2.6.1.3 Rochas de calcário

Tokarski (2017) teve como objetivo a substituição da areia natural por areia de britagem de rocha calcária para confecção de argamassa de revestimento. Foram utilizados cinco tipos de composições, com as seguintes porcentagens de areia de britagem: 0, 20, 40, 60 e 80%, utilizando aditivo plastificante ao invés da cal. No estado fresco a autora observou que o traço com 80% de areia de britagem, apresentou a maior densidade de massa, porém com baixo teor de ar incorporado, o que leva a perda da trabalhabilidade da argamassa. Enquanto o traço com 40% de areia de britagem apresentou o melhor índice de incorporação de ar, o que contribui para trabalhabilidade da argamassa.

No estado endurecido Tokarski (2017) mostra que a resistência à tração na flexão e a compressão simples aumentam com o acréscimo de areia de britagem de rocha calcária. No final, a autora ponderou que o traço com 40% de areia de britagem apresentou o melhor desempenho, com curva granulométrica entre a faixa exigida pela norma, aliado a bom comportamento no estado fresco e endurecido.

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, Região Metropolitana de Curitiba, PR. Foram produzidas 22 misturas. 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 com 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.

2.6.1.4 Rochas de diferentes litologias

Carasek *et al.* (2016) realizaram um estudo com quatro tipos de areia de britagem providas de rochas com diferentes litologias, sendo elas: quartzito, granito, micaxisto e dolomito. Os autores utilizaram um traço, em volume, de 1:1:6 (cimento:cal:areia), comparando as quatro areias de britagem com a areia natural. As principais conclusões do estudo destacam que a porosidade e a massa unitária da areia são os principais parâmetros que melhor se correlacionam com a densidade e a consistência das argamassas.

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 a 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.

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.

2.7 Síntese dos estudos sobre incorporação de areia de britagem na argamassa

A seguir são mostrados quadros resumo com os principais resultados encontrados pelos autores que desenvolveram estudos sobre incorporação de areia de britagem em argamassas para revestimento.

O Quadro 8 mostra a litologia e o traço que cada autor utilizou para confecção das argamassas bem como qual foi o resultado de incorporação ótima encontrado na pesquisa. Na sequência o Quadro 9 traz os resultados encontrados pelos estudos para o coeficiente de capilaridade, resistência a tração na flexão e resistência a compressão. O Quadro 10 mostra os resultados para os ensaios realizados pelos autores, nas argamassas no estado endurecido.

Quadro 8 - Incorporação de areia de britagem

Autor(es)	Litologia	Traço	Incorporação ótima (%)
Kazmierczak <i>et al.</i> (2016)	Basalto	1:1:6	10 % de finos
Canova (2017)	Calcário	1:1,5:9	Entre 5 e 10% de finos em substituição ao cimento
Rosa (2013)	Basalto	1:1:6	10% de finos
Diógenes (2016)	Basalto	1:1:6	25%
Guacelli (2010)	Basalto	1:1:6	50%
Santos <i>et al.</i> (2019)	Gnaiss	1:0,551:4,653 (A.N.) 1:0,455:6,793 (A.B.)	62,27%
Tokarski (2017)	Calcário	1:1:6	40%
Silva (2006)	Calcário	Vários	Não determinado
Carasek <i>et al.</i> (2016)	Diferentes litologias	1:1:6	Não determinado
Freitas (2010)	Diferentes litologias	1:2:9	Não determinado
Hoque <i>et al.</i> (2013)	Diferentes litologias	1:1:6	25%

Fonte: Autor (2022).

Quadro 9 - Principais resultados encontrados pelos autores para argamassa no estado fresco

Autor(es)	Traços (%)	Índice de consistência (mm)	Teor de água (%)	Densidade de massa (Kg/m³)	Ar incorporado (%)
Kazmierczak et al. (2016)	AN1,5	Fixou em 260mm +/- 10mm	19,8	2020	4,4
	AB1,5		23,3	2100	2,5
	AB6		22,6	2120	2,5
	AB10		21,8	2120	2,6
	AB20		20,7	2140	3,0
	AB30		20,4	2150	3,0
Canova (2017)	AN0	257	25,0	1930	4,5
	AN2,5	261	26,1	1935	3,8
	AN5	262	26,6	1945	3,1
	AN10	258	27,2	1946	2,5
	AN15	259	27,7	1960	3,0
Rosa (2013)	AN1,5	257	23,3	2099	2,5
	AN6	261	22,6	2124	2,4
	AN10	261	21,8	2123	2,6
	AN20	256	20,7	2141	3,0
	AN30	264	20,4	2150	2,9
Diógenes ¹ (2016)	AN100	235	15,8	1886	8,0
	AB25	235	15,6	1906	8,0
	AB50	235	15,1	1921	7,0
	AB75	240	15,1	1936	7,0
	AB100	245	15,4	1945	6,0
Guacelli (2010)	AN100	Fixou em 250mm +/- 10mm	18,6	1940	Não Calculado
	AB50		16,5	2060	
	AB70		16,5	2140	
	AB100		16,0	2300	
Tokarski (2017)	AN100	264	Não Calculado	1846	10
	AB20	273		1917	11
	AB40	280		1967	11
	AB60	287		2108	9
	AB80	285		2155	9
Freitas (2010)	AB100	252	18,3	1322	9
	AN100	251	24,5	1219	8
	AB100	251	18,3	1375	5
	AB100	255	18,0	1316	7
	AB100	257	21,0	1422	6
Legenda: AN: Areia Natural; AB: Areia de Britagem 1: Resultados para Areia de Britagem D					

Fonte: Autor (2022).

Quadro 10 - Principais resultados encontrados pelos autores para argamassa no estado endurecido

Autor(es)	Traços (%)	Coefficiente de Capilaridade	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Aderência à tração (MPa)
Kazmierczak et al. (2016)	AN1,5	16	2,7	0,8	Não Calculado
	AB1,5	21	3,2	0,9	
	AB6	20	3,5	1,0	
	AB10	19	3,8	1,1	
	AB20	18	3,9	1,1	
	AB30	19	3,7	1,0	
Canova (2017)	AN0	14	1,3	0,8	Não Calculado
	AN2,5	23	1,3	0,85	
	AN5	15	1,3	0,85	
	AN10	15	1,2	0,7	
	AN15	12	0,8	0,5	
Rosa (2013)	AN1,5	16,5	2,78	0,78	0,28
	AN6	17,13	2,63	0,67	0,27
	AN10	14,30	2,98	0,62	0,39
	AN20	12,99	3,02	0,66	0,29
	AN30	15,84	2,99	0,60	0,34
Diógenes ¹ (2016)	AN100	Não Calculado	6,4	1,6	0,21
	AB25		6,7	2,2	0,16
	AB50		7,6	2,3	0,14
	AB75		8,3	2,2	0,21
	AB100		7,4	2,4	0,19
Guacelli (2010)	AN100	17,92	2,21	0,84	Não Calculado
	AB50	12,06	2,45	1,21	
	AB70	13,36	2,38	1,19	
	AB100	12,52	2,50	1,27	
Tokarski (2017)	AN100	15,1	4,57	10,1	0,55
	AB20	3,8	4,21	10,94	0,73
	AB40	9,5	5,13	15,74	0,72
	AB60	13,1	5,29	13,15	0,58
	AB80	5,0	5,16	14,87	0,65
Freitas (2010)	AB100	23	2,1	0,6	Não Calculado
	AN100	26	1	0,4	
	AB100	26	2,2	0,7	
	AB100	23	1,8	0,7	
	AB100	32	1,6	0,6	
Legenda: AN: Areia Natural; AB: Areia de Britagem 1: Resultados para Areia de Britagem D					

Fonte: Autor (2022).

2.8 Propriedades térmicas em argamassas

Com o surgimento de preocupações em relação a sustentabilidade, o desempenho térmico nas edificações passou a ser um assunto recorrente. Cada vez mais, procura-se projetar de maneira a obter maior eficiência energética, conforto térmico e acústico e atender as condições de desempenho. Nesse contexto, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) foi publicada com o objetivo de apresentar critérios mínimos de desempenho térmico das edificações.

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define que para atender as exigências de conforto térmico e necessário avaliar os sistemas de vedação e cobertura. Além da alvenaria, a argamassa de revestimento é indispensável para realizar o fechamento da estrutura que, de acordo com Passos e Carasek (2018) pode ser responsável por até 30% do isolamento térmico quando apresentar espessura em torno de 35% do sistema de vedação. Dessa forma, o estudo de novos materiais e sistemas construtivos se torna uma maneira de suprir as exigências e uma ferramenta de vantagem competitiva no mercado da construção civil. Neste sentido a condutividade térmica torna-se uma propriedade importante a se observar nas argamassas.

A condutibilidade térmica é uma característica de cada material e quantifica a capacidade do material de conduzir calor. Materiais isolantes possuem baixa condutividade térmica, ou seja, conduzem calor de maneira lenta, enquanto que os dissipadores de calor têm alta condutibilidade térmica (JORGE, 2011).

Navroski et al. (2010) definem que um material pode ser determinado como sendo bom ou mau condutor térmico de acordo com sua estrutura atômica ou molecular. Dessa forma, os metais são bons condutores devido às ligações fracas dos elétrons mais externos que os possibilitam transportar energia livremente por meio de colisões do metal. Porém, materiais como madeira, lã, vidro, papel e poliestireno que são considerados mau condutores de calor (isolantes térmicos) possuem seus elétrons mais externos firmemente ligados.

Materiais porosos, geralmente possuem baixa condutibilidade térmica, classificando-os como isolantes térmicos. Porém, se esses materiais absorverem água passarão a conduzir mais calor, perdendo a capacidade de isolar (RORIZ, 2008).

2.8.1 Desempenho térmico do revestimento argamassado em paredes

De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013) os sistemas de vedação verticais internos e externo das edificações integram os demais elementos da construção influenciando no desempenho. Esses materiais apesar de não ter função estrutural podem fazer o isolamento térmico e acústico, evitar a entrada de água (estanqueidade), fazem a fixação de peças suspensas e entre outras funções.

A NBR 15220-2 (ABNT, 2005) apresenta valores de referência para condutividade térmica para argamassas. O valor para argamassa comum de cal é de 1,15 W/(m.K). O Quadro 11 mostra os valores encontrados por diversos autores para argamassas compostas com cal e utilizadas como referência em seus estudos.

Quadro 11 – Resultados de condutividade térmica em argamassas utilizados como referência pelos autores.

Autor(es)	Condutividade térmica (W/(m.K))	Método
Fontes (2013)	0,790	ISOMET 2104
Piteira (2015)	0,856	ISOMET 2104
Monteiro (2015)	0,341	λ -Meter EP500 (EN 12664:2001)
Passos <i>et al.</i> (2016)	1,15	Cálculo Simplificado (NBR 15575:2013)
Sikora <i>et al.</i> (2017)	1,80	ISOMET 2104
Silva (2017)	1,40	ISOMET 2104
Latroch <i>et al.</i> (2018)	1,80	ISOMET QTM 30
Badache <i>et al.</i> (2018)	1,90	ISOMET QTM 30
Lakrafli <i>et al.</i> (2012)	0,63	DELTALAB
Petereit (2020)	1,15	Laser Flash Apparatus (LFA)

Fonte: Autor (2022).

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o método para pesquisa do referencial teórico bem como os materiais e métodos empregados para determinar a influência da areia de britagem no desempenho das argamassas para revestimentos. Para isso, foi realizada caracterização dos agregados, avaliação das propriedades das argamassas no estado fresco (densidade de massa e consistência) e no estado endurecido (resistência mecânica e coeficiente de capilaridade).

3.1 Método para pesquisa bibliográfica

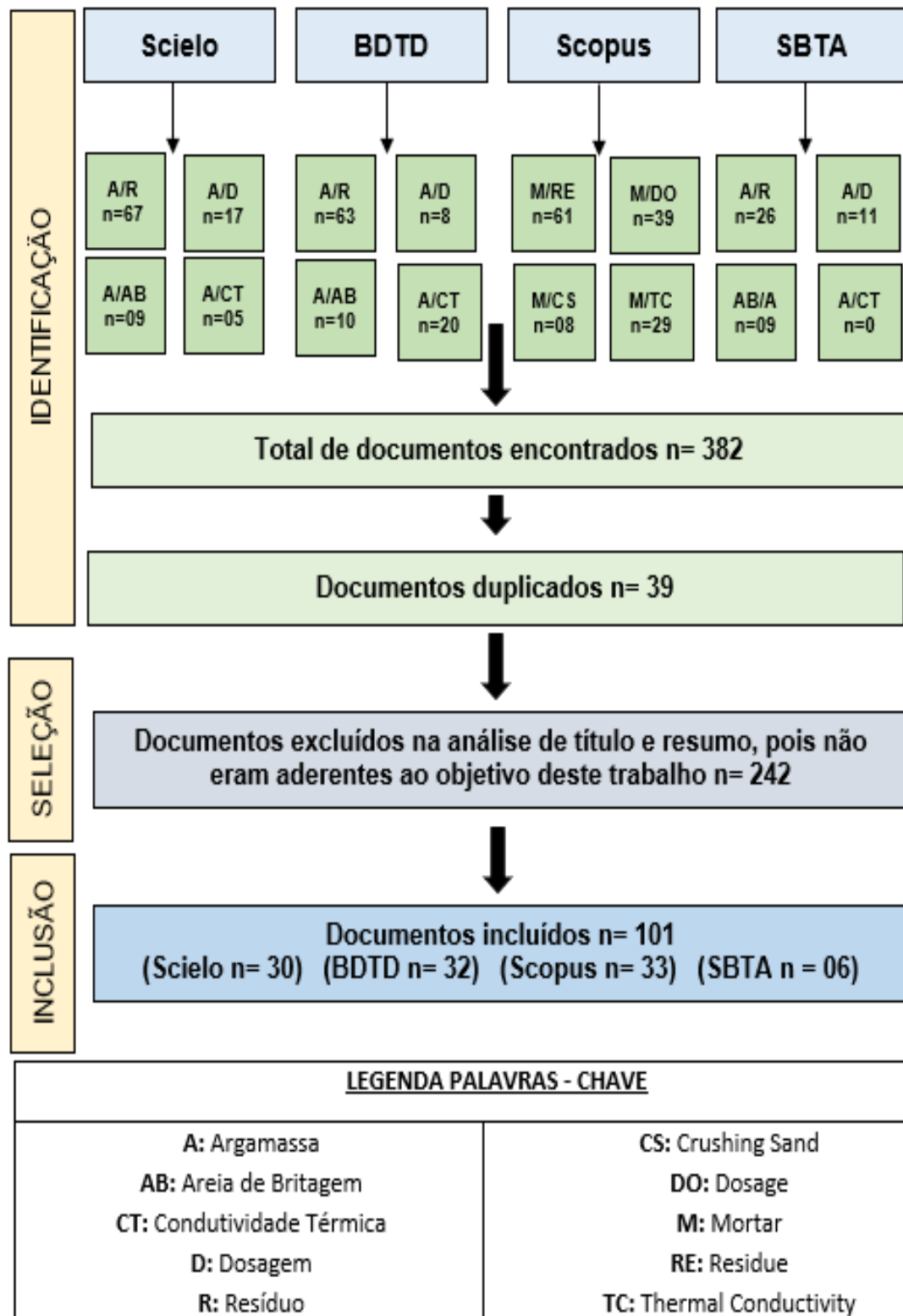
Foi realizada uma Revisão da Literatura, em quatro bases de dados: Scielo, Scopus, Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD) da Capes e Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassa (SBTA), com as seguintes palavras-chave em português: Argamassa, Areia de Britagem, Condutividade Térmica, Dosagem e Resíduo, nas bases Scielo, BDTD e SBTA. Para a busca na Scopus foram utilizadas as palavras-chave em inglês: Crushing Sand, Dosage, Mortar, Residue and Thermal Conductivity. Não foram utilizadas as palavras em inglês na Scielo pois não se encontrou resultados significativos. As buscas foram realizadas no mês de março de 2021. Essas bases foram escolhidas devido à sua abrangência na área de estudo. Os filtros utilizados, para as três bases foram:

- Campos: Título, Resumo e Palavras-chaves;
- Tipo de documento: somente artigos, excluindo assim trabalhos de conferências e outros papéis.
- Período: Sem restrição.
- Entre cada palavra-chave a lógica booleana “AND” foi utilizada.

A combinação das palavras-chaves, bem como as etapas seguidas para a seleção dos estudos estão ilustradas no fluxograma da Figura 5.

Os documentos que não eram aderentes ao objetivo deste trabalho foram excluídos pois tratavam de temas como: argamassa para assentamento de pisos, produção de concreto, resíduos sem emprego em argamassa, condutividade térmica não aplicada em argamassas de revestimento e dosagem de concreto.

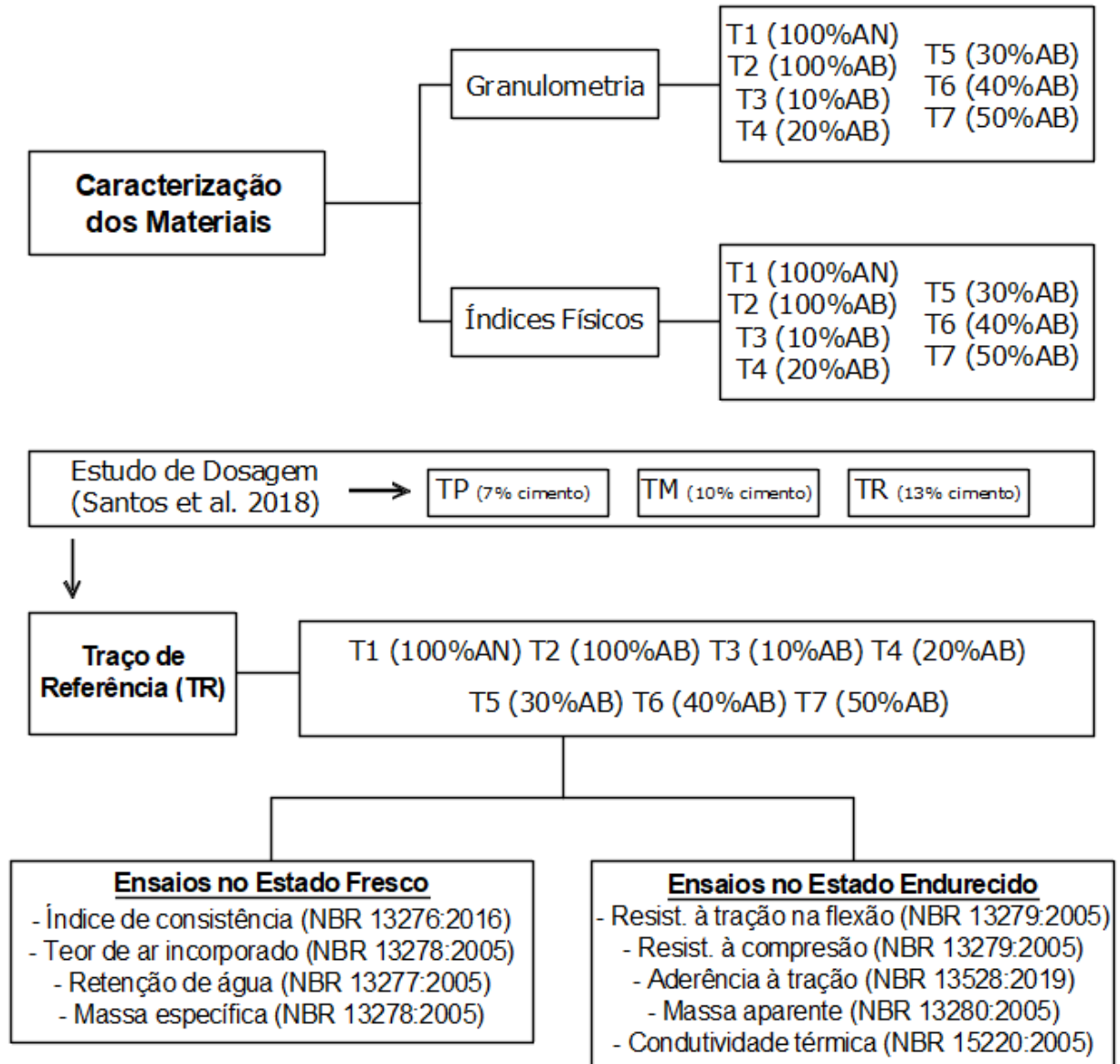
Figura 5 - Fluxograma da pesquisa teórica



Fonte: Autor (2022).

Um fluxograma esquemático do programa experimental utilizado para desenvolver a pesquisa é apresentado na Figura 6. De maneira simplificada, foram seguidas duas vertentes principais: a caracterização dos materiais que serão utilizados, principalmente os agregados, de forma a embasar e justificar as propriedades das argamassas produzidas e o desempenho dos revestimentos.

Figura 6 - Fluxograma da pesquisa experimental



Fonte: Autor (2022).

3.2 Caracterização dos materiais

Serão apresentados os resultados obtidos na caracterização dos aglomerantes e substrato utilizado e os métodos adotados para realizar os ensaios nos agregados utilizados neste trabalho.

3.2.1 Aglomerantes

Foi utilizado o cimento Portland tipo CP II E-32, cujas principais características, fornecidas pelo fabricante, são apresentadas no Quadro 12.

Quadro 12 - Características do cimento

Início de Pega	>60 mim.
Fim de Pega	<600min.
Resistência à compressão (3dias)	>10 MPa
Resistência à compressão (7dias)	>20 MPa
Resistência à compressão (28dias)	>32 MPa
pH	13
Massa específica aparente	1,2 g/cm ³
Massa específica real	2,99 g/cm ³

Fonte: Intercement Brasil (2022).

A cal hidratada, segundo Fiorito (2009), traz benefícios únicos para a argamassa: Dá plasticidade, tornando a argamassa mais leve e fácil de trabalhar; Aumenta a retenção de água, impedindo a perda de água excessiva ao substrato; Melhora a resistência mecânica e a aderência da argamassa; Diminui o módulo de elasticidade da argamassa, tornando-a mais flexível, capaz de melhor acompanhar as movimentações da estrutura, evitando fissuras; Recarbonata ao longo do tempo, tornando a argamassa ainda mais resistente, e tamponando eventuais fissuras; Dá acabamento mais fino, levando a economia de tinta além de ter propriedades fungicidas e bactericidas. A cal hidratada utilizada foi do tipo CH-III, caracterizada pelo fabricante (Quadro 13) quanto às características físicas e químicas.

Quadro 13 - Características da cal

Hidróxido de cálcio	65 a 78%
Hidróxido de magnésio	15 a 25%
Carbonato de cálcio	<15%
Óxido de cálcio	<15%
pH	12,4
Massa específica aparente	0,50 g/cm ³
Massa específica real	2,21 g/cm ³

Fonte: Supercal (2022).

3.2.2 Agregados miúdos

Foram utilizados dois tipos de agregados: areia natural lavada quartzosa proveniente do Rio Tietê e extraída na cidade de Pederneiras/SP (distante 30 Km de Bauru/SP) e areia de britagem de rochas basálticas (chamado também de pó de pedra) coletado na Pedreira Nova Fortaleza, situada na cidade de Pederneiras/SP (Figura 7).

Figura 7 - Vista geral do processo de britagem de rochas basálticas



Fonte: Autor (2022).

Os agregados passaram por peneiramento, em peneiras com abertura de 2,8mm com o objetivo de retirar impurezas e uniformizar o diâmetro máximo dos agregados. Todos os agregados foram caracterizados conforme os ensaios descritos no Quadro 14.

Quadro 14 - Caracterização dos agregados

Característica	Objetivo	Metodologia
Composição Granulométrica	Mostrar a distribuição dos grãos constituintes dos agregados, com determinação do módulo de finura e dimensões.	NBR NM 248 (ABNT, 2003)
Teor de Material Pulverulento	Determinar a quantidade de material com granulometria inferior a 75 micrômetros	NBR NM 46 (ABNT, 2003)
Massa unitária	Determinar a massa que as partículas do agregado ocupam em determinado volume.	NBR NM 45 (ABNT, 2006)
Massa específica	Estabelecer a relação entre a massa do agregado na condição saturado superfície seca e seu volume, excluindo os poros permeáveis.	Método do Frasco de Chapman

Fonte: Autor (2022).

3.2.3 Composição granulométrica dos agregados miúdos

Com o objetivo de verificar a composição granulométrica realizou-se o ensaio de granulometria (Figura 8) conforme a NBR NM 248 (ABNT, 2003). O ensaio foi realizado em uma amostra (300g) de cada agregado utilizado, com grãos passantes na peneira de abertura 2,8 mm. Foram realizadas várias composições entre a areia natural e a areia de britagem, sendo elas descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição das areias para estudo granulométrico

Nome do Traço	Quantidade Areia Natural (%)	Quantidade Areia de Britagem (%)
AN 100	100	0
AB 100	0	100
AB 10	90	10
AB 20	80	20
AB 30	70	30
AB 40	60	40
AB 50	50	50

Fonte: Autor (2022).

Figura 8 - Distribuição granulométrica dos agregados

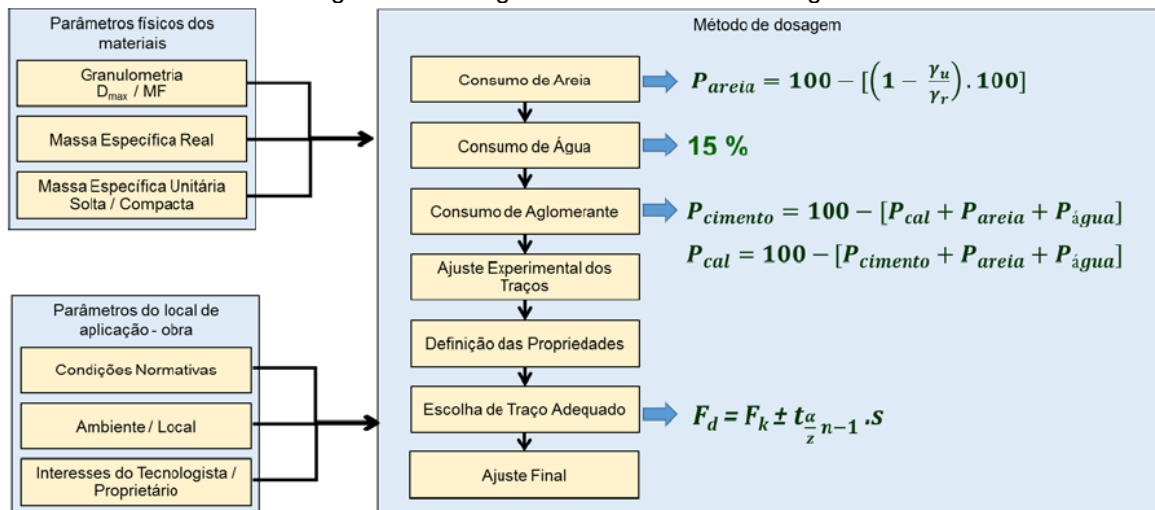


Fonte: Autor (2022).

3.3 Definição do traço através do método de dosagem proposto por Santos et al. (2018)

Dosar uma argamassa consiste em estabelecer as proporções dos materiais constituintes da mistura com base em conceitos e propriedades técnico-científicos fundamentados no tipo de uso da argamassa e nas características dos materiais constituintes. O método de dosagem proposto corresponde a um conjunto de atividades sequenciais (Figura 9) que permite obter um proporcionamento de materiais, desenvolver testes experimentais e definir o traço mais adequado (SANTOS et al. 2018).

Figura 9 - Fluxograma do método de dosagem



Fonte: SANTOS et al. (2018).

3.3.1 Quantidade de agregado

A definição do tipo e da quantidade de agregado no traço ocorreu a partir da análise da curva granulométrica, definindo-se a dimensão máxima característica em função do acabamento desejado (para este estudo adotou-se 2,4 mm) e das massas específicas unitárias compactas e reais. Santos et al. (2018) propõe a Equação 3.1 para definição da quantidade de areia a ser utilizada.

$$P_{areia} = 100 - \left[\left(1 - \frac{\gamma_u}{\gamma_r} \right) \cdot 100 \right] \quad (3.1)$$

Onde:

P_{areia} = Consumo de areia no traço (%)

γ_u = Massa específica unitária compacta da areia (g/cm³)

γ_r = Massa específica real da areia (g/cm³)

3.3.2 Quantidade de água

As argamassas de revestimento, em concordância com Santos et al.(2018), requerem um percentual de poros que permita sua flexibilidade e ao mesmo tempo aderência ao substrato, distribuindo esforços (CARASEK, 2010). Cerca de 23% a 25% da massa de cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2014) será a quantidade de água que reagirá com o cimento, e o restante evaporará deixando poros. Alguns poros permitirão a percolação do CO₂ para a carbonatação da cal, sendo preenchidos, e alguns permanecerão abertos. Se o processo de dosagem for adequado, a relação aglomerante-agregado permitirá a geração de poros isolados, originados pelo aditivo incorporador de ar presente na cal, condição ideal para garantir a plasticidade e reologia da argamassa (CARDOSO, 2009; CARASEK, 2010; HADDAD, 2015; SANTOS, 2014).

A definição final da quantidade de água foi feita pelo ensaio do índice de consistência, considerando uma consistência de 260±10 mm. Diversos trabalhos (FREITAS, 2010; CARASEK, 2010; SANTOS, 2011) observaram que o percentual de água ficava em torno de 15±5% do total de materiais. Então se utilizou o valor inicial de 15%, adicionando água gradualmente, até à consistência desejada.

3.3.3 Quantidade de aglomerantes

Para definir o traço ideal foi adotada a equação 3.2, sendo estipulada a quantidade percentual (volume aparente) de cimento para se determinar a de cal.

Adotou-se o percentual intermediário de 10% de cimento, um traço mais forte (+3% de cimento) e outro mais fraco (-3% cimento). Neste trabalho os traços foram denominados:

- TP = Traço Pobre (7% de cimento)
- TM = Traço Médio (10% de cimento)
- TR = Traço Rico (13% de cimento)

Foram utilizados os valores de massa específica real e unitária do cimento (2,99 kg/l e 1,2 kg/l respectivamente) e da cal (2,21 kg/l e 0,50 kg/l respectivamente), fornecidos pelos fabricantes, para transformação dos traços em proporção de massa.

$$P_{cal} = 100 - (P_{cimento} + P_{areia} + P_{água}) \quad (3.2)$$

Onde:

P_{cal} = Consumo de cal (%)

$P_{cimento}$ = Consumo de cimento (%)

P_{areia} = Consumo de areia (%)

$P_{água}$ = Consumo de água (%)

3.3.4 Definição do traço de referência (TR)

De acordo com Santos et al. (2018) as argamassas de revestimento devem atender a uma condição de dosagem dada pela Equação 3.3:

$$F_d = F_k \pm t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} \cdot s \quad (3.3)$$

Onde:

F_d = Limite de dosagem de determinada propriedade da argamassa;

F_k = Limite característico de determinada propriedade da argamassa;

$t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$ = valor tabelado (Distribuição t) para um nível de significância de 5% (confiabilidade de 95%) e grau de liberdade (n-1);

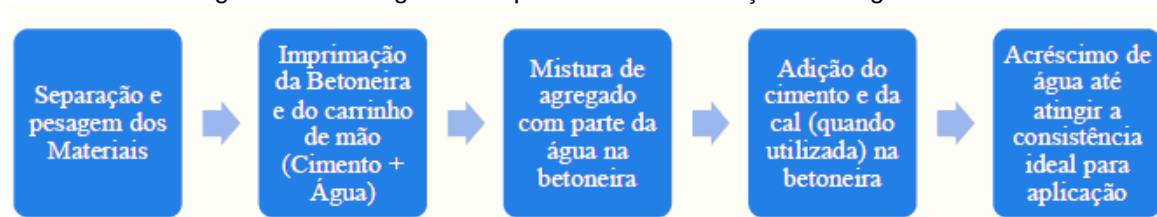
“s” = Desvio padrão da amostra avaliado através de regressão linear de cada propriedade em função dos constituintes dos materiais em porcentagem de volume; e

“n” = Número de amostras.

3.4 Produção e ensaios das argamassas

A confecção das argamassas consistiu na separação e pesagem precedente dos materiais, de acordo com cada traço, imprimação da betoneira e do carrinho de mão utilizados, mistura em betoneira de eixo vertical (devido à predominância desse equipamento em obra). Iniciou-se colocando apenas o agregado com uma parcela da água, para a condição de semi-saturação do agregado, conforme recomendação de Buttler (2003), Miranda (2005) e Neno (2010). As etapas detalhadas da mistura são apresentadas no fluxograma da Figura 10.

Figura 10 - Fluxograma do processo de confecção das argamassas



Fonte: Autor (2022).

A quantidade de material em cada traço foi suficiente para a produção de todos os corpos de prova sem a necessidade de uma nova mistura, evitando variabilidade dos resultados devido a qualquer tipo de alteração entre o processo de produção das argamassas.

3.4.1 Ensaios das argamassas no estado fresco

As argamassas produzidas foram avaliadas no estado fresco quanto as seguintes propriedades: densidade, teor de ar e consistência. A adição de água (relação água/materiais secos e relação água/cimento) foi controlada em função da trabalhabilidade.

3.4.1.1 Densidade de Massa e Teor de ar incorporado

A densidade e o teor de ar foram determinados de acordo com a NBR 13278 (ABNT, 2005), consistindo em aferir a massa de um recipiente cilíndrico vazio (cujo volume é medido enchendo-o com água quantificada em instrumento calibrado), preenchê-lo com argamassa e aferir a massa final. Para o preenchimento do recipiente com argamassa foi utilizado o seguinte procedimento:

- Introduzir suavemente, com colher, porções de argamassa no recipiente calibrado, formando três camadas de alturas aproximadamente iguais. Em cada camada, aplicar 20 golpes ao longo do perímetro da argamassa. Cada golpe corresponde à entrada e à saída da espátula na posição vertical. Na primeira camada, a espátula não deve bater fortemente contra o fundo do recipiente, e nas demais camadas, a espátula deve ser aplicada somente com a força necessária para penetrar na superfície da camada imediatamente inferior.

- Após a execução e golpeamento da última camada, aplicar cinco golpes com o soquete, a intervalos regularmente distribuídos ao redor da parede externa do recipiente. Após a retirada da espátula, não devem ficar vazios entre a argamassa e a parede do recipiente.

- Rasar o recipiente a régua, em duas passadas ortogonais entre si, fazendo movimentos de vai-e-vem em toda a superfície, com inclinação de 45° em relação à superfície da argamassa. Se alguns grãos de areia existentes acima da borda do recipiente provocarem a subida da régua, o rasamento deve ser repetido após a eliminação dos grãos. A operação foi realizada em no máximo 90s, contados a partir do enchimento do recipiente.

A densidade é a razão entre a diferença entre as massas do conjunto preenchido de argamassa e do recipiente vazio e o volume do recipiente. Para cada traço foram feitas três medições e o valor da densidade em massa considerado foi a média dos valores obtidos.

O teor de ar incorporado (AI) foi determinado pela razão entre a densidade de massa aferida no ensaio (A) e a densidade de massa teórica da argamassa, sem vazios (B), de acordo com a equação 3.4.

$$AI = 100 \left(1 - \frac{A}{B} \right) \quad (3.4)$$

3.4.1.2 Índice de consistência

O índice de consistência foi determinado por meio do teste em mesa, *flowtable*, realizado de acordo com as determinações da NBR 13276 (ABNT, 2002).

O preparo das argamassas ocorreu 15 ± 2 minutos antes da realização do ensaio, ficando a argamassa em repouso durante esse período, sendo em seguida homogeneizada manualmente com espátula por no máximo 30 segundos.

Antes da realização do ensaio os equipamentos foram limpos, evitando impurezas que podem interferir no resultado final do ensaio, que é realizado preenchendo-se um molde tronco-cônico, colocado de modo centralizado sobre uma mesa para índice de consistência.

O molde foi preenchido em três camadas sucessivas, com alturas aproximadamente iguais, e foram aplicados em cada uma delas, respectivamente, 15, 10 e 5 golpes com o soquete, de maneira a distribuí-las uniformemente. O rasamento da argamassa foi realizado passando a régua metálica rente à borda do molde tronco-cônico, com movimentos curtos de vai-e-vem ao longo de toda a superfície. Logo após, a mesa para o índice de consistência foi acionada, manualmente, de modo que foram efetuados 30 golpes em 30 segundos. Imediatamente após o último golpe da mesa, realizou-se a medida em três diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro, com o uso de paquímetro digital.

A Figura 11 ilustra as etapas de desenvolvimento do ensaio de espalhamento, (a) moldagem do corpo tronco cônico, retirada do molde (b) e espalhamento após os 30 golpes para aferição das medidas para finalização do ensaio (c).

Figura 11 - Ensaio *flow table* (A) moldagem; (B) início e (C) finalização do ensaio.



Fonte: Autor (2022).

O índice de consistência da argamassa corresponde à média das três medidas de diâmetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo. As pesquisas internacionais variam a fixação e resistência, Corinaldesi (2009) 120 ± 10 mm, Jiménez et al. (2013) utilizou 175 ± 5 mm, Martínez et al.

(2013) 190 ± 5 mm, para os trabalhos nacionais, Miranda (2005), sugere que a consistência seja mantida entre 280 e 330 mm, ou seja, as argamassas seriam mais fluidas que as produzidas internacionalmente. A NBR 13276:2002 orienta que o índice de consistência seja ajustado em 260mm +/- 10, e foi esse valor utilizado neste trabalho.

3.4.2 Ensaios das argamassas no estado endurecido

3.4.2.1 Absorção de água e Coeficiente de Capilaridade

Para a esse ensaio utilizou-se a NBR 15259 (ABNT, 2005), onde foram moldados três corpos de prova cilíndricos para cada traço, com dimensões 100x50mm e desmoldados após 24 horas. Os corpos de prova permaneceram nas condições de temperatura e umidade ambiente do laboratório. Aos 28 dias os corpos de prova foram levados à estufa, retirados após 24 horas e, ao atingirem temperatura ambiente, tiveram sua massa aferida (massa inicial), posteriormente foram colocados no recipiente com água, de modo que a face do corpo de prova permanecesse em contato com a água (Figura 12).

Figura 12 – Corpos de Prova após o ensaio de absorção de água e coeficiente de capilaridade



Fonte: Autor (2022).

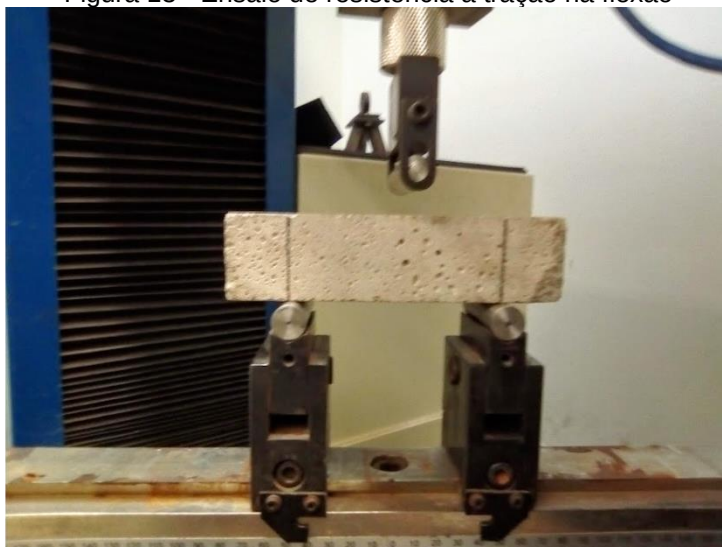
Em seguida foram realizadas duas medidas de massa, a primeira aos 10 minutos e a segunda aos 90 minutos. O Coeficiente de Capilaridade (CC) é calculado de acordo com a fórmula 3.5.

$$CC = \text{Massa}_{90\text{min}} - \text{Massa}_{10\text{min}} \quad (3.5)$$

3.4.2.2 Resistência à tração na flexão

Os ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão foram realizados de acordo com orientações prescritas da NBR 13279 (ABNT, 2005). Foram moldados três corpos de prova prismáticos, 40 x 40 x 160 mm, para cada traço de argamassa, eles foram desmoldados após 24 horas e mantidos em temperatura e umidades ambientes no laboratório. A ruptura ocorreu na idade de 28 dias. Para a resistência à tração na flexão foi aplicada carga constante de (50 ± 10) N/s até a ruptura do corpo de prova, a Figura 13 ilustra o ensaio realizado.

Figura 13 - Ensaio de resistência à tração na flexão

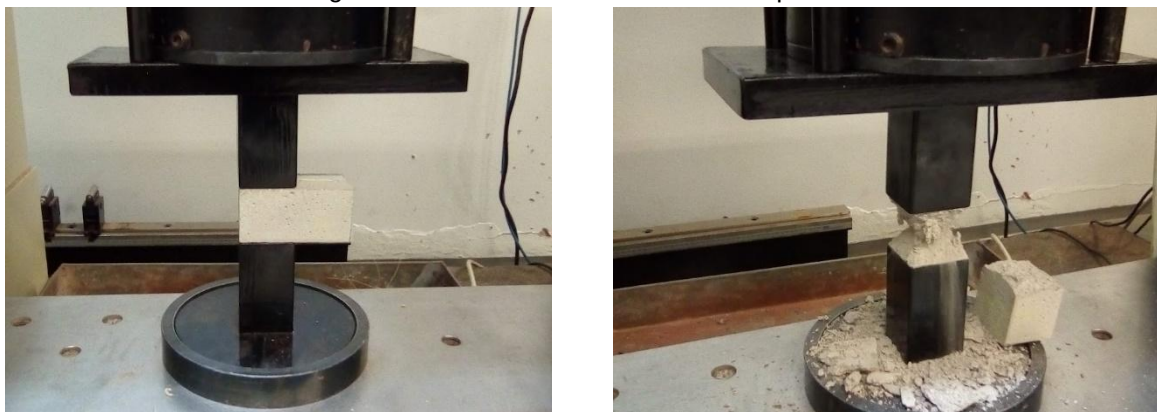


Fonte: Autor (2022).

3.4.2.3 Resistência à compressão

Para a resistência à compressão foram usadas as duas metades de cada corpo de prova, proveniente do rompimento à tração na flexão, aplicando-se carga de (500 ± 50) N/s, até a ruptura do corpo de prova, conforme indica a NBR 13279:2005. Na Figura 14 é apresentada as metades dos corpos de prova da resistência à tração na flexão no momento do ensaio (esquerda) e após o rompimento (direita).

Figura 14 - Ensaio de resistência à compressão



Fonte: Autor (2022).

3.4.2.4 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência à tração foi avaliada por meio do ensaio de arrancamento (*pull-off test*), realizado de acordo com os procedimentos estipulados pela NBR 13528 (ABNT, 2019), que determina a extração de doze amostras de revestimento, escolhidas aleatoriamente. O ensaio foi executado de acordo com as especificações a seguir.

1) Os corpos de prova foram preparados em laboratório em revestimentos aplicados sobre blocos cerâmicos, dispostos sobre bancada, mantidos em temperatura ambiente no laboratório durante 28 dias;

2) Foram retirados doze corpos de prova com seção circular, de 50 mm de diâmetro, para cada traço;

3) O corte foi feito utilizando-se serra de copo e com borda diamantada e com profundidade de 20mm;

4) A superfície do corpo de prova sobre a qual será fixada, com utilização de cola epóxi, a pastilha (placa metálica não deformável com a carga de ensaio, de seção circular, com 50 mm de diâmetro, com um dispositivo no centro para acoplamento do equipamento de tração), foi limpa para a remoção de partículas descartáveis;

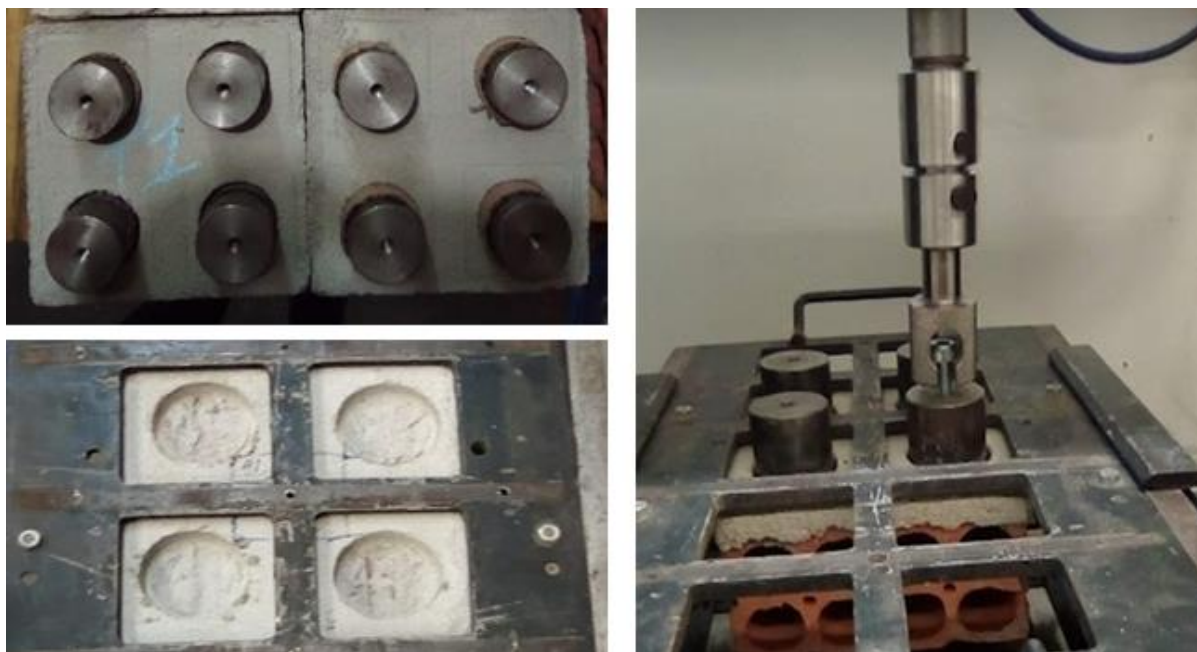
5) Acoplou-se o equipamento de tração à pastilha e iniciou-se a aplicação do esforço de tração, perpendicularmente ao corpo de prova, até a ruptura do mesmo,

anotando-se o valor da carga e a forma de ruptura, verificando a zona mais frágil do revestimento;

6) A tensão de ruptura foi determinada então, dividindo-se a tensão de ruptura (MPa) pela área da seção do corpo de prova (mm²). Os resultados dependem da forma de ruptura do corpo de prova, a tensão encontrada equivale à resistência à tração da seção de ruptura.

Os resultados obtidos foram comparados aos valores da NBR 13749 (ABNT, 2013), que estipula os valores mínimos para o revestimento (0,20 MPa para paredes internas e 0,30 MPa para paredes externas). O procedimento experimental é apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Ensaio de resistência de aderência à tração

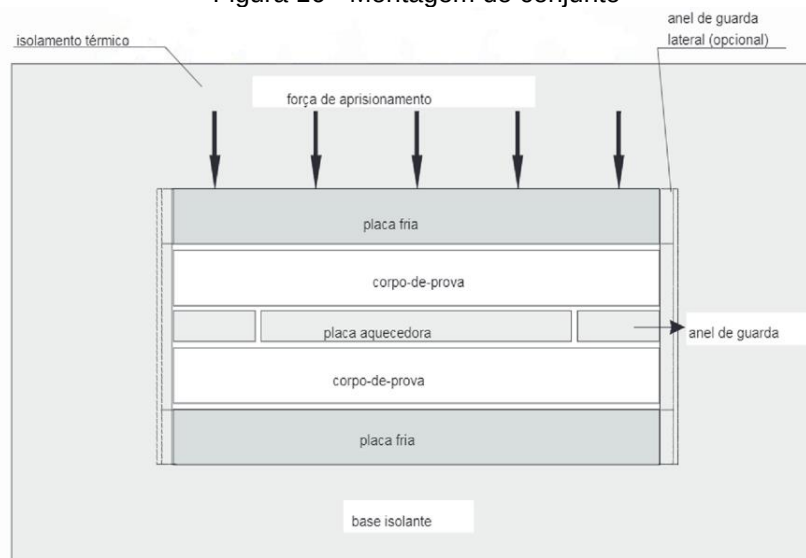


Autor (2022).

3.4.2.5 Condutividade térmica

Para analisar a condutividade térmica foi utilizado os princípios gerais da medição, de acordo com NBR 15220-4 (ABNT, 2005). A determinação da condutividade térmica por este método envolve a medição do gradiente de temperatura médio estabelecido sobre o corpo de prova, a partir de um certo fluxo de calor e em condições de regime permanente, seguindo o modelo do conjunto da Figura 16.

Figura 16 - Montagem do conjunto



Fonte: ABNT (2005).

Para a medição da condutividade térmica foi utilizado o equipamento elaborado por Lucas, Scalon e Azambuja (2021). Na sequência é mostrado um protótipo para realização do experimento, conforme Figura 17. Para a determinação da condutividade térmica é necessário identificar o fluxo de calor atravessando o bloco e as temperaturas em sua extremidade, conforme a Equação (3.6).

$$Ka = La \frac{q''}{T_q - T_f} = La \frac{(q/A)}{T_q - T_f} \quad (3.6)$$

Onde:

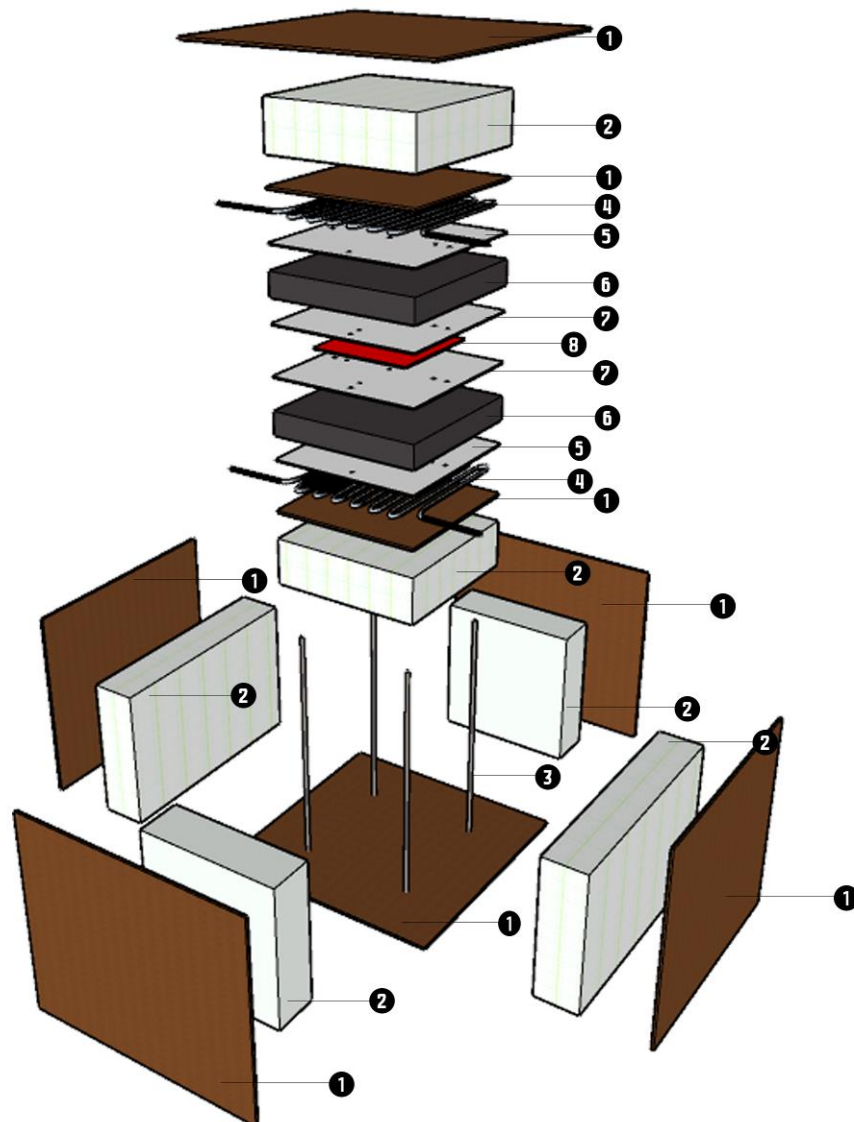
k_a é a condutividade térmica da amostra

L_a é a espessura do bloco

$q' = q/A$ é o fluxo de calor cruzando a amostra

T_q e T_f são as medidas das temperaturas nas placas quente e fria, respectivamente.

Figura 17 - Protótipo para medição da condutividade térmica



- 1- Placas de MDF
- 2- Poliestireno Expandido (base isolante)
- 3- Força de aprisionamento (barras roscadas)
- 4- Serpentinhas de alumínio
- 5- Placa de alumínio (disposição do sensor na placa fria)
- 6- Corpos de prova (argamassa)
- 7- Placa de alumínio (disposição do sensor na placa quente)
- 8- Placa aquecedora (MK2B PCB)

Fonte: LUCAS, SCALON E AZAMBUJA (2021).

3.5 Análise estatística

Para avaliar a significância estatística dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração na flexão, resistência à compressão e resistência de aderência à tração, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA) com comparação de pares de

Tukey através do software Past 4.03. Dentro dos resultados, as diferenças estatisticamente significativas são indicadas com valor de $p < 0,005$.

A ANOVA é uma fórmula estatística usada para comparar as variâncias entre as medianas (ou médias) de grupos diferentes. Diversos cenários usam ANOVA para determinar se há alguma diferença entre as medianas dos diferentes grupos. Diógenes (2016) e Tokarski (2017), utilizaram a ANOVA para analisar estatisticamente os traços de argamassas produzidos em suas pesquisas.

Spiegel; Stephens (2009) afirmam que em estudos que buscam comparar a distribuição de três ou mais grupos de amostras independentes, frequentemente se utiliza a ANOVA. Nesse caso, o resultado evidencia que a distribuição de pelo menos um dos grupos se difere das demais, contudo não indica entre quais grupos a diferença é significativa. Assim, se faz necessário utilizar testes de comparações múltiplas como é o caso do Teste de Tukey, utilizado também por Tokarski (2017) em seu estudo sobre argamassas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e analisados os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais realizados no desenvolvimento desta pesquisa, desde a caracterização dos agregados utilizados até as argamassas produzidas.

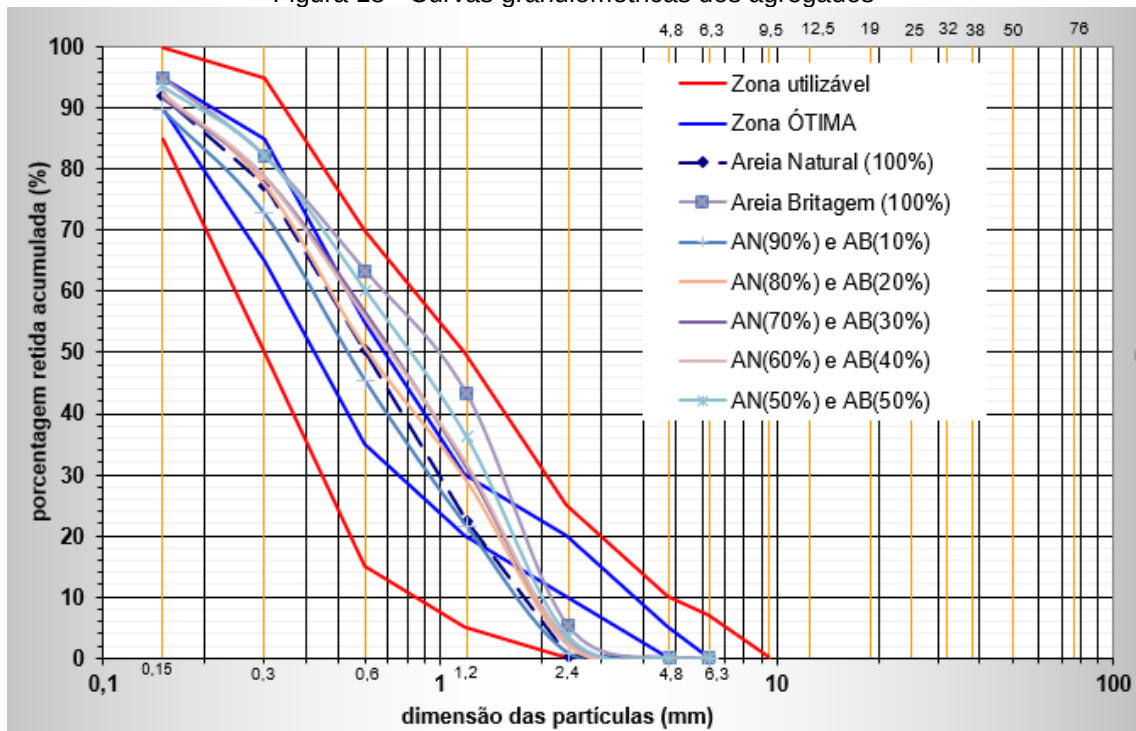
4.1 Caracterização dos agregados

4.1.1 Composição granulométrica

A distribuição granulométrica, morfologia das areias e o teor de ar incorporado são propriedades influentes no comportamento das argamassas no estado fresco. Freias e Costa (2010) afirmam que os teores da fração fina e graúda das areias e o empacotamento desses grãos influenciaram no comportamento reológico das argamassas por eles estudadas. Fuller e Thowpson (1970, apud CARNEIRO; CINCOTTO, 1999) a partir de experimentos empíricos de dosagens, mostraram que, para uma mesma porcentagem de cimento num dado volume, havia certa distribuição de tamanhos de grão do agregado que apresentava maior resistência mecânica e, no lançamento a melhor trabalhabilidade; concluindo que a distribuição granulométrica influencia na compacidade da mistura, pois observaram que quanto maior for a compacidade maior é a resistência mecânica das argamassas e concretos.

A curva granulométrica média dos agregados é apresentada na Figura 18 em que se pode observar que os agregados estão inseridos, em sua maioria, na área delimitada pela zona utilizável, estabelecida na NBR 7211 (ABNT, 2009), que foi utilizada como referência.

Figura 18 - Curvas granulométricas dos agregados



Fonte: Autor (2022).

Com relação a granulometria, todos os traços atendem as recomendações e estão incluídos nas zonas utilizáveis inferior e superior, em especial os traços T1 (90% de areia natural e 10% de areia de britagem) e T2 (80% de areia natural e 20% de areia de britagem), encontra-se no intervalo balizado pelas zonas ótimas superior e inferior de granulometria, dos agregados miúdos, recomendado pela norma.

4.1.2 Teor de material pulverulento

Para a determinação do teor de material pulverulento, foram realizados, para todos os agregados utilizados, os procedimentos preconizados pela NM 46 (ABNT, 2003). A maioria das pesquisas relacionadas com areias de britagem cita a existência de material pulverulento, isto é visível ao se ter contato com o material em laboratório (Figura 19).

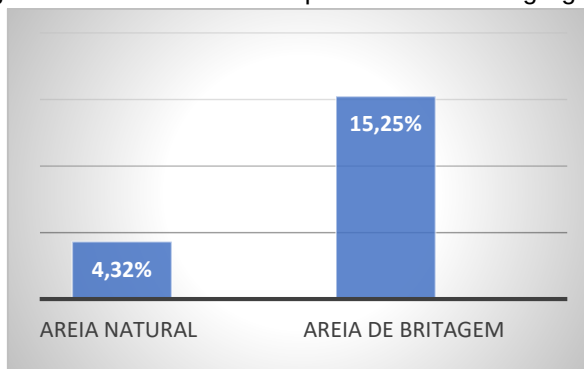
Figura 19 - Areia Natural (esquerda) e Areia de Britagem (direita)



Fonte: Autor (2022).

Conforme esperado, houve um elevado teor de finos na areia de britagem (Figura 20), superior ao existente na areia natural. O alto teor de material pulverulento aumenta o consumo de água para obter-se a trabalhabilidade desejada, como o aumento de água altera a relação água/cimento, diminuindo a resistência mecânica da argamassa, utilizou-se como alternativa, um aditivo plastificante, fixando-se a relação água/cimento

Figura 20 - Teor de material pulverulento dos agregados



Fonte: Autor (2022).

4.1.3 Massa unitária e massa específica

A massa unitária visa determinar a massa que as partículas do agregado ocupam em determinado volume e foi calculada de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006). A massa específica (também chamada de massa específica real) busca estabelecer a relação entre a massa do agregado na condição saturado superfície seca e seu volume, excluindo os poros permeáveis e foi calculada pelo método do Frasco de Chapman. Os resultados estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados de massa unitária e massa específica

Traço	Massa específica (g/cm³)	Massa unitária solta (g/cm³)	Massa unitária compacta (g/cm³)
AN100%	2,6380	1,4960	1,645
AB100%	2,9420	1,6020	1,765
AN90%AB10%	2,6684	1,5066	1,657
AN80%AB20%	2,6988	1,5172	1,669
AN70%AB30%	2,7292	1,5278	1,681
AN60%AB40%	2,7596	1,5384	1,693
AN50%AB50%	2,7900	1,5490	1,705

Fonte: Autor (2022).

4.2 Estudo de dosagem

Conforme o método de dosagem de Santos et al. (2018) descrito na metodologia, foram encontrados os traços bases apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição dos traços base

	Unidade	Cimento	Cal	Areia	Água
Traço Pobre (TP)	(%)	7,000	15,894	62,106	15,000
	(L)	1,000	2,271	8,872	2,143
	(Kg)	1,000	1,398	12,302	1,793
Traço Médio (TM)	(%)	10,000	12,894	62,106	15,000
	(L)	1,000	1,289	6,211	1,500
	(Kg)	1,000	0,794	8,612	1,255
Traço Rico (TR)	(%)	13,000	9,894	62,106	15,000
	(L)	1,000	0,761	4,777	1,154
	(Kg)	1,000	0,469	6,624	0,966

Fonte: Autor (2022).

4.2.1 Caracterização das argamassas no estado fresco

As características avaliadas foram a relação água/cimento e água/materiais secos, e as argamassas produzidas foram ensaiadas quanto à densidade em massa e consistência, por meio do método *Flow table*, especificado na NBR 13276 (ABNT, 2002), que sugere um índice de 260 +/- 10mm. Os resultados dessa etapa são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades das argamassas no estado fresco

Traço	Água/Cimento	Água/Materiais secos	Densidade (kg/m ³)	Consistência (mm)
TP	2,86	20,0%	2301,6	263
TM	1,90	19,0%	2326,1	261
TR	1,40	18,3%	2354,2	265

Fonte: Autor (2022).

4.2.2 Caracterização das argamassas no estado endurecido

No estado endurecido, as argamassas foram ensaiadas aos 28 dias, quanto a resistência à tração na flexão, resistência à compressão, absorção de água e coeficiente de capilaridade. Os resultados obtidos são discutidos nos tópicos subsequentes.

4.2.3 Resistência à tração na flexão

Para a resistência à tração na flexão os três corpos de prova foram avaliados aos 28 dias, de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). As médias obtidas no ensaio de tração na flexão, o desvio padrão e o coeficiente de variação para os três traços estudados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resistência à tração na flexão

Traço	Res. Tração na Flexão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
TP	0,86	0,84	0,09	10,50
	0,75			
	0,92			
TM	1,50	1,77	0,234	13,22
	1,93			
	1,88			
TR	1,33	1,29	0,03	2,54
	1,26			
	1,29			

Fonte: Autor (2022).

4.2.4 Resistência à compressão em corpos de prova prismáticos

No ensaio de resistência à compressão os seis corpos de prova foram avaliados aos 28 dias, de acordo com a NBR 13279 (ABNT, 2005). As médias obtidas no ensaio de compressão, o desvio padrão e o coeficiente de variação para os três traços estudados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resistência à compressão em CPs prismáticos

Traço	Res. Compressão (MPa)	Média (MPa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
TP	2,53	2,75	0,14	5,02
	2,78			
	2,75			
	2,95			
	2,72			
	2,76			
TM	3,56	5,03	0,76	15,17
	5,08			
	4,97			
	5,54			
	5,48			
	5,56			
TR	4,24	4,07	0,38	9,24
	4,22			
	4,18			
	3,31			
	4,16			
	4,32			

Fonte: Autor (2022).

4.2.5 Resultados do processo de dosagem e definição do traço de referência (TR)

De acordo com Santos *et al.* (2018) a definição do traço de referência corresponde à definição do traço que atenda à condição de dosagem dada pela Equação 3.3. Para isso se faz necessário, a partir dos resultados obtidos, identificar o desvio padrão encontrado nos experimentos e utilizá-lo no processo de dosagem.

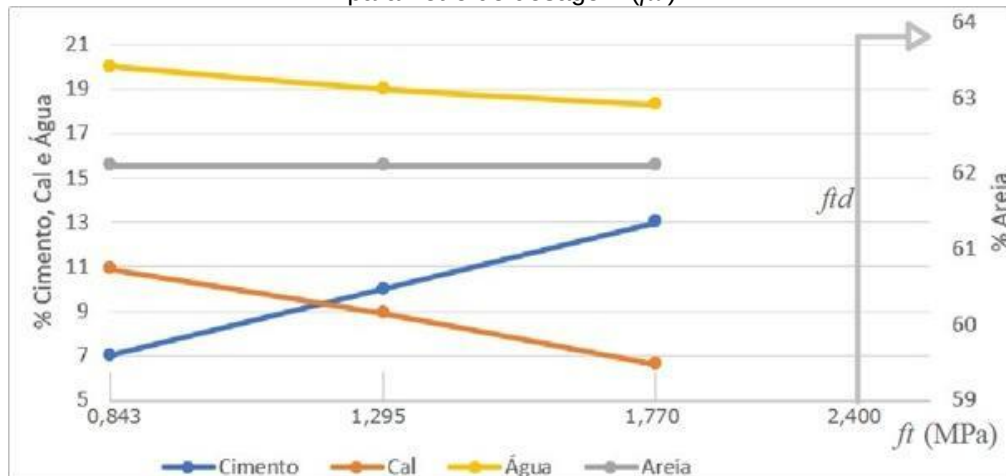
Para chegar ao traço de referência, as argamassas de revestimento devem atender a uma condição de dosagem, sendo adotados neste trabalho os intervalos de limites extremos, ou seja, buscam-se propriedades que devem atingir no mínimo ou no máximo determinado valor da propriedade avaliada. A Tabela 7 reúne os valores característicos, para $t_{\frac{\alpha}{2}} n - 1$ graus de liberdade, maior desvio padrão experimental, e os valores de dosagem de cada propriedade, onde F_k é o valor desejado e F_d o valor dado pela Equação 3.3

Tabela 7 - Valores para cálculo do traço de referência

Propriedade	F_k	$t \frac{\alpha}{z} n - 1$	Desvio padrão	F_d
Resistência à tração na flexão (f_t)	> 2,00	2,920	0,234	> 2,4
Resistência à compressão (f_c)	> 4,00	2,015	0,76	> 4,89

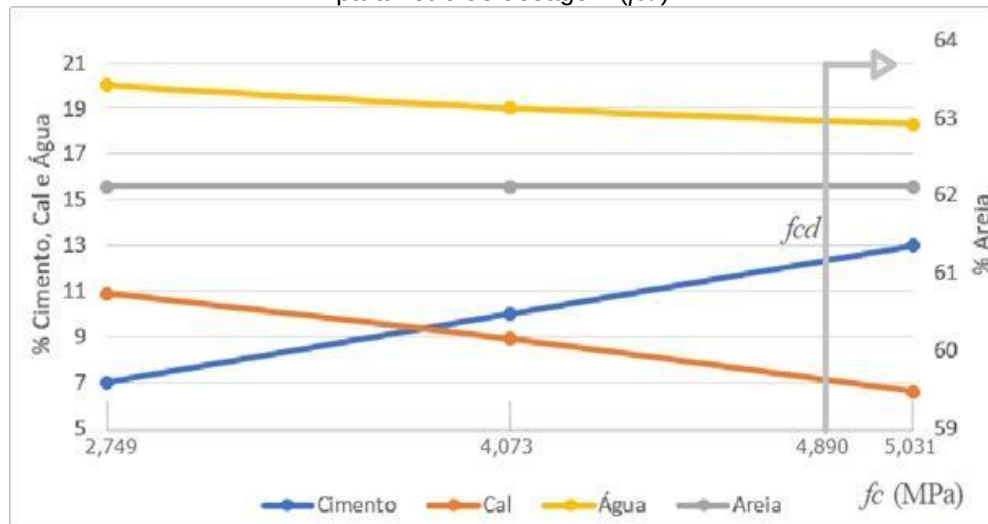
Fonte: Autor (2022).

De posse dos resultados dos experimentos e do valor de dosagem de cada propriedade, foram confeccionados os gráficos de proporcionamento de materiais versus cada propriedade para definir as curvas de dosagem e assim encontrar o traço de referência (Figura 21 e Figura 22). Aproximaram-se por linha de tendência da planilha eletrônica os três traços, sendo as curvas polinomiais de 2º grau que melhor representaram os eventos estudados, permitindo, desse modo, estruturar equações de correlação da quantidade de cada material em função de cada propriedade.

Figura 21 - Proporcionamento dos materiais versus resistência à tração na flexão para definição do parâmetro de dosagem (f_{td})

Fonte: Autor (2022).

Figura 22 - Proporcionamento dos materiais versus resistência à compressão para definição do parâmetro de dosagem (f_{cd})



Fonte: Autor (2022).

Diante dos resultados pôde-se encontrar o traço mais adequado para a areia estudada segundo as condições estipuladas. Para a escolha foi avaliado qual propriedade se apresenta mais exigente quanto a seu parâmetro. Por exemplo, que propriedade apresenta a exigência de um traço mais próximo ao mais forte, ou seja, mais à direita do gráfico. Pelos gráficos, percebe-se que a resistência à tração na flexão foi a propriedade limitadora para a areia neste trabalho.

Foram utilizadas as correlações obtidas nesta propriedade para definir o traço ideal para areia artificial, conforme as Equações 4.1 a 4.4.

$$P_{\text{cimento}} = -0,14ft^2 + 3ft + 4 \quad (4.1)$$

$$P_{\text{cal}} = -0,15ft^2 - 1,55ft + 12,59 \quad (4.2)$$

$$P_{\text{água}} = 0,15ft^2 - 1,45ft + 21,3 \quad (4.3)$$

$$P_{\text{areia}} = 62,106 \quad (4.4)$$

A partir das Equações 4.1 a 4.4 foi possível encontrar o traço de referência (Tabela 8) para as condições dos materiais e do ambiente de aplicação, conforme os parâmetros desejados.

Tabela 8 - Traço de referência

Unidade	Cimento	Cal	Areia	Água
(%)	10,39	8,01	62,11	18,68
Volume (L)	1,000	0,770	5,975	1,798
Massa (Kg)	1,000	0,474	8,286	1,504

Fonte: Autor (2022).

4.3 Avaliação da argamassa

Utilizando o traço de referência foram confeccionadas sete diferentes argamassas (Tabela 9) alterando a quantidade de areia de britagem da mistura e fixando os demais componentes da argamassa. Adicionou-se para cada traço aditivo plastificante afim de melhorar a trabalhabilidade da argamassa. A proporção de aditivo utilizada seguiu como base a indicação do fabricante: 2ml de aditivo para cada 1,0 Kg de cimento.

Tabela 9 - Argamassas confeccionadas

Nome do Traço	Quantidade de Areia Natural (%)	Quantidade de Areia de Britagem (%)
AN100	100	0
AB10	90	10
AB20	80	20
AB30	70	30
AB40	40	60
AB50	50	50
AB100	0	100

Fonte: Autor (2022).

Para cada um dos traços da Tabela 9 foram utilizados os materiais listados na Tabela 10. Fixou-se a quantidade de cimento, cal, água e aditivo plastificante para todos os traços, variando apenas as quantidades de areia natural e areia de britagem. Isso permite obter resultados que demonstrem a influência que a adição de areia de britagem gera na argamassa.

Tabela 10 - Consumo de materiais

Nome do Traço	Cimento (Kg)	Cal (Kg)	Areia Natural (Kg)	Areia de Britagem (Kg)	Água (Kg)	Aditivo Plastificante (ml)
AN100	4,5	2,35	37,30	0	6,77	9,0
AB10	4,5	2,35	33,57	3,73	6,77	9,0
AB20	4,5	2,35	29,84	7,46	6,77	9,0
AB30	4,5	2,35	26,11	11,19	6,77	9,0
AB40	4,5	2,35	22,38	14,92	6,77	9,0
AB50	4,5	2,35	18,65	18,65	6,77	9,0
AB100	4,5	2,35	0	37,30	6,77	9,0

Fonte: Autor (2022).

4.3.1 Resultados dos ensaios nas argamassas no estado fresco

A Tabela 11 mostra os resultados dos ensaios realizados nas argamassas em seu estado fresco. Foram feitos os ensaios de densidade de massa no estado fresco, teor de ar incorporado e índice de consistência.

Tabela 11 - Resultado dos ensaios das argamassas em seu estado fresco

Traço	Densidade de massa (g/cm ³)	Teor de Ar incorporado (%)	Índice de consistência (mm)
AN100	2,06	4,83	282
AB10	2,08	4,64	279
AB20	2,09	4,68	266
AB30	2,12	4,17	259
AB40	2,14	3,79	248
AB50	2,14	4,51	239
AB100	2,16	6,83	202

Fonte: Autor (2022).

A densidade de massa obteve resultados dentro do esperado, ou seja, à medida que se aumenta a concentração de areia de britagem, eleva-se também a densidade de massa. Isso se deve ao fato de a areia de britagem ter uma massa específica maior que a areia natural. No entanto os resultados alcançados foram semelhantes aos encontrados por Guacelli (2010), Rosa (2013), Kazmierczak et al. (2016) e Tokarski (2017).

O teor de ar incorporado permaneceu estável e bastante próximo ao traço de referência (AN 100) nos traços com areia de britagem. Silva (2016) menciona que o uso da cal contribui para um melhor empacotamento do conjunto agregado/aglomerante, possibilitando argamassas com bons teores de ar incorporado. Segundo Fiorito (2009), valores de ar incorporado maiores que 4% podem contribuir para a aplicação da argamassa na execução dos revestimentos, melhorando sua trabalhabilidade. Contudo o mesmo autor pondera que valores mais elevados (acima de 10%) podem causar porosidade excessiva nas argamassas, permitindo o aumento de permeabilidade e infiltrações, que por sua vez, colaboram para o surgimento de patologias nos revestimentos.

No ensaio *FlowTable*, foram apurados os valores de índice de consistência demonstrados na Tabela 11. Observa-se que com o aumento da areia de britagem

diminui-se o índice de consistência, contudo até o traço AB 50 é possível ter uma trabalhabilidade razoável, observada pelo autor durante o processo de fabricação da argamassa. Diógenes (2016) e Guacelli (2010) encontraram resultados semelhantes aos alcançados nessa pesquisa e consideraram que argamassas com índice de consistência em torno de 240mm +/- 10mm possuem trabalhabilidade viável para aplicação em paredes.

4.3.2 Resultados dos ensaios nas argamassas no estado endurecido

4.3.2.1 Ensaio de resistência à tração na flexão

Foram realizados ensaios de resistência à tração na flexão para todos os traços propostos das argamassas nas idades de 14, 28 e 56 dias. Embora a NBR 13279/2005 recomende 3 corpos de prova para cada idade, utilizou-se 12 corpos de prova para cada idade, a fim de melhorar a amostragem estatística. As tabelas com todos os corpos de provas avaliados estão no apêndice A.

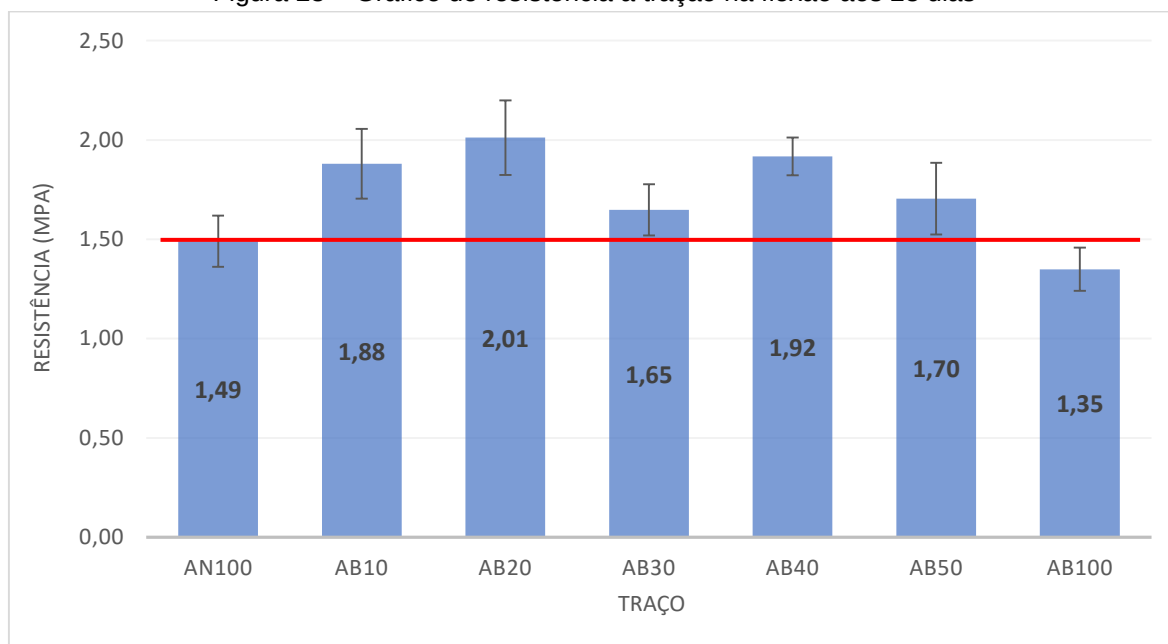
Tomando como base o valor de resistência à tração na flexão aos 28 dias do traço AN 100 (traço de referência), podemos notar que os traços AB 10, AB 20, AB 30, AB 40 e AB 50 obtiveram ganho na resistência, sendo o traço AB 20 o melhor valor encontrado aos 28 dias (2,01MPa, 35% maior que o traço de referência). Pode-se afirmar que o uso da areia de britagem até 50% em substituição a areia natural gera um ganho de resistência a tração na flexão em argamassas para revestimento.

Este aumento é percebido também por outros pesquisadores como Guacelli (2010), Diógenes (2016) e Tokarski (2017) e é justificado pelo fato de os finos da areia de britagem preencherem melhor os vazios da argamassa aumentando a densidade de massa no estado endurecido e consequentemente aumentando as resistências mecânicas como é o caso da resistência à tração na flexão.

A análise estatística ANOVA mostrou que existe diferença significativas entre os traços, enquanto o teste Tukey realizado mostrou que os traços AB 10, AB 20, AB 40 e AB 50, possuem diferenças significativas para o traço de referência (AN 100), que condiz com aumento da resistência à tração na flexão encontrado nesses traços, apenas o traço AB 100 ficou abaixo do AN 100. A análise estatística se encontra no apêndice D.

A Figura 23 mostra um gráfico que compara as resistências de tração na flexão aos 28 dias, tendo como referência o traço AN100 (linha vermelha), as linhas verticais na parte de cima das barras mostram o Coeficiente de Variação (CV).

Figura 23 – Gráfico de resistência à tração na flexão aos 28 dias



Fonte: Autor (2022).

4.3.2.2 Ensaio de resistência à compressão

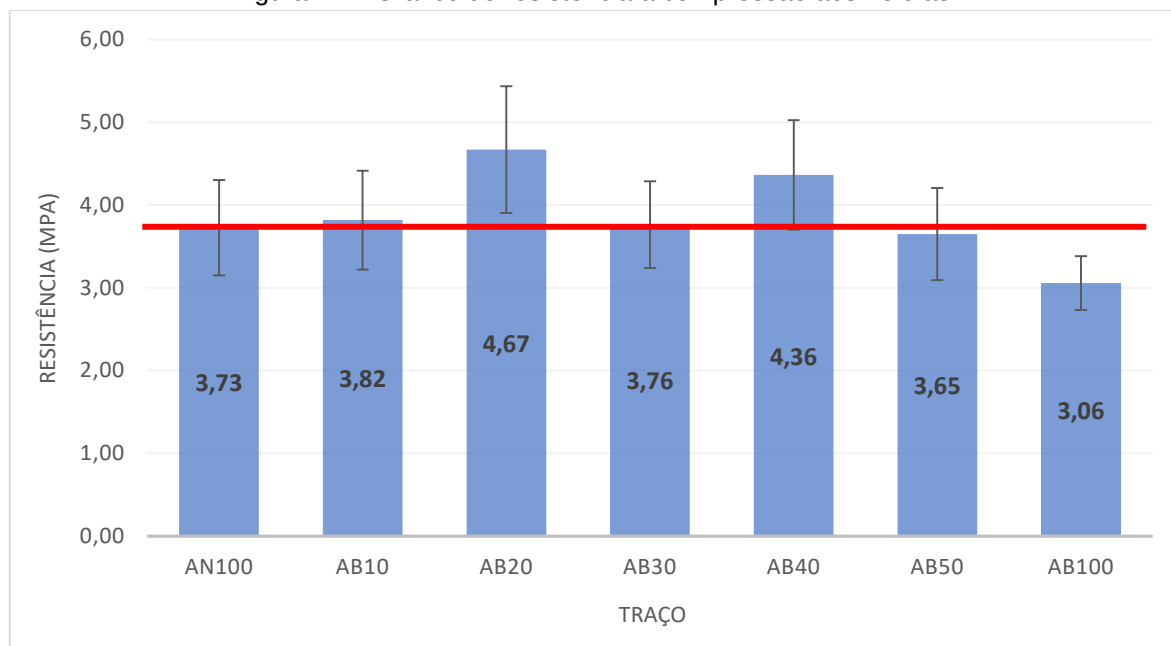
Foram realizados ensaios de resistência à compressão para todos os traços propostos das argamassas nas idades de 14, 28 e 56 dias. Embora a NBR 13279/2005 recomende 6 corpos de prova para cada idade, utilizou-se 24 corpos de prova para cada idade a fim de melhorar a amostragem estatística. Os valores numéricos deste ensaio estão no apêndice B.

O ensaio de resistência à compressão seguiu as mesmas tendências de ganho encontrados no ensaio de resistência à tração na flexão. O melhor traço foi o AB 20 com 4,67 MPa aos 28 dias, quase 30% maior que o traço de referência (AN 100), comprovando o aumento de resistência mecânica nos traços com areia de britagem até AB 50. Apenas o traço com 100% de areia de britagem (AB100) ficou abaixo do traço AN 100.

O Coeficiente de Variação (CV), em geral, é maior no ensaio de resistência à compressão quando comparado ao ensaio de resistência a tração na flexão, tal fato é encontrado pelos demais autores que estudaram argamassa com areia de

britagem, tais como Diógenes (2016) e Tokarski (2017). O CV está representado no gráfico abaixo (Figura 24) na forma de barras verticais em cada traço.

Figura 24 – Gráfico de resistência à compressão aos 28 dias



Fonte: Autor (2022).

A análise ANOVA mostrou que a influência da areia de britagem é significativa nos esforços de compressão da argamassa, na sequência o teste Tukey mostrou que os traços AB 20 e AB 40 tem diferenças significativas para o traço de referência, colaborando para a afirmação de que o uso da areia de britagem traz ganhos para resistência à compressão da argamassa. As tabelas com os resultados estatísticos completos estão no apêndice D.

4.3.2.3 Ensaio de Capilaridade

Foram realizados ensaios para determinação do Coeficiente de Capilaridade (CC) para todos os traços propostos das argamassas na idade de 28 dias. Conforme determina a NBR 15259/2005 foram utilizados 3 corpos de prova.

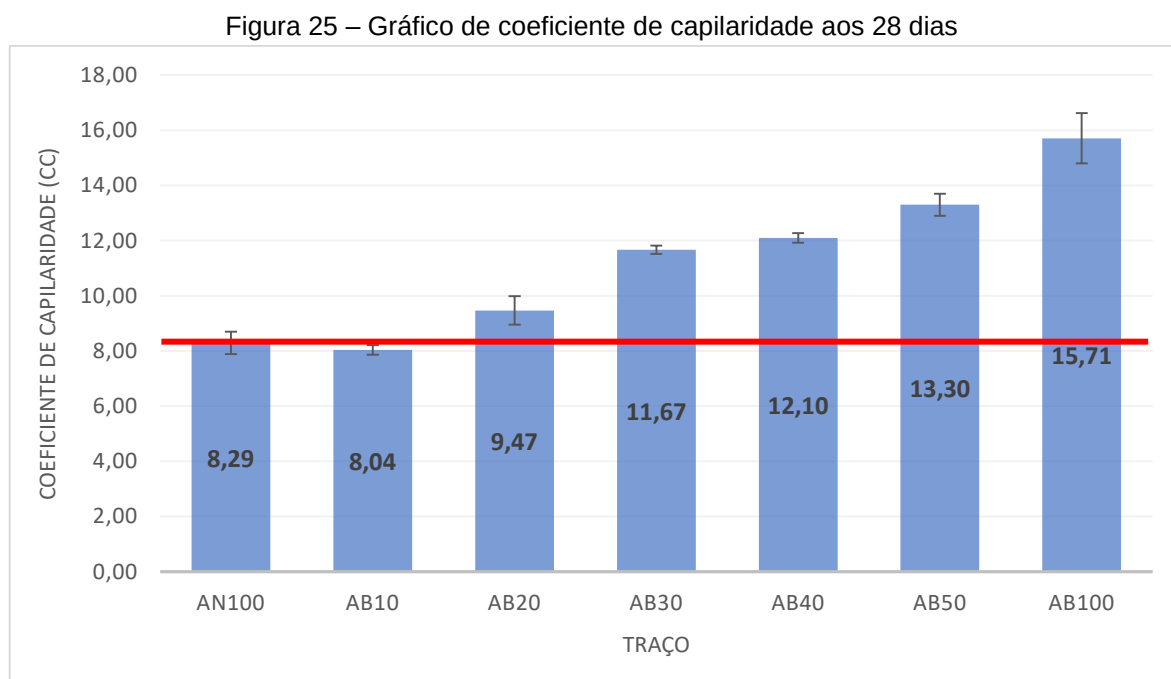
O coeficiente de capilaridade (CC) cresce à medida que se aumenta a areia de britagem, sendo o CC do traço AB 100, 89% maior que o traço de referência (AN 100). Isso ocorre pelo fato de a areia de britagem possuir uma quantidade bem maior de material pulverulento do que a areia natural. Tal material faz com que a absorção de água seja maior nas argamassas com areia de britagem, aumentando

assim seu coeficiente de capilaridade. Vale ressaltar que quanto menor o CC melhor é considerado a argamassa.

Comparando com outros pesquisadores, os valores obtidos foram parecidos com os encontrados por Guacelli (2010), Rosa (2013) e Tokarski (2017) e menores do que os encontrados por Kazmierczak et.al. (2016), Canova (2017) e Freitas (2010).

Ademais se compararmos o traço que apresentou os melhores resultados de resistência mecânica (AB 20) com AN 100, vemos um aumento bem menor no CC (15%). Deste modo, do ponto de vista da capilaridade e absorção de água é possível afirmar que se pode usar o traço AB 20 para revestimentos externos e até o traço AB 50 para revestimentos internos, em áreas secas, sem prejuízo ao revestimento argamassado.

A Figura 25 mostra o gráfico que compara os traços quanto ao coeficiente de capilaridade aos 28 dias, o CV está representado na forma de barras verticais em cada traço.



Fonte: Autor (2022).

4.3.2.4 Ensaio de Massa Específica no Estado Endurecido

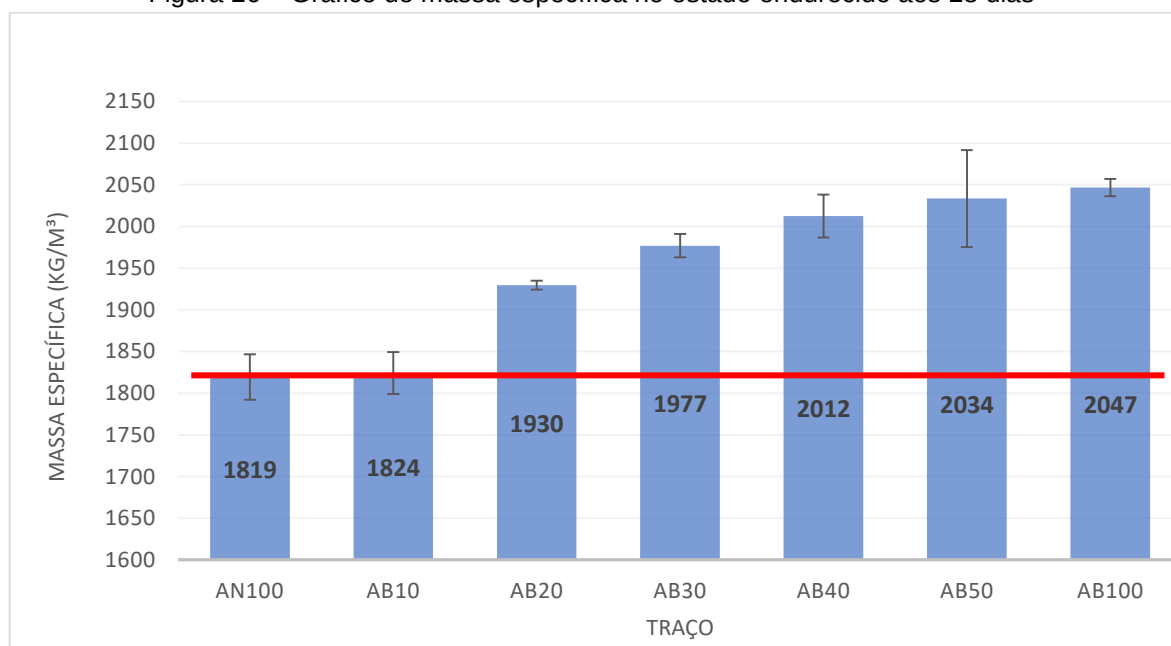
Foram realizados ensaios para determinação da Massa específica no estado endurecido para todos os traços propostos das argamassas na idade de 28 dias. Conforme determina a NBR 13280/2005 foram utilizados 3 corpos de prova. A Tabela 19 traz o resultado deste ensaio.

Pode-se observar que as massas específicas no estado endurecido aumentam conforme aumenta a quantidade de areia de britagem no traço, isso se deve ao fato da massa específica da areia de britagem ($2,942 \text{ g/cm}^3$) ser 11,5% maior do que a da areia natural ($2,638 \text{ g/cm}^3$). Esse fato foi observado também por outros pesquisadores, dentre eles Guacelli (2010), Rosa (2013), Diógenes (2016) e Tokarski (2017).

Como já dito anteriormente o aumento da massa específica se mostrou benéfico, gerando ganhos para as resistências de tração na flexão e compressão nos traços AB 10, AB 20, AB 30, AB 40 e AB 50.

O gráfico da Figura 26 ilustra o resultado para massa específica no estado endurecido, o CV está representado na forma de barras verticais em cada traço.

Figura 26 – Gráfico de massa específica no estado endurecido aos 28 dias

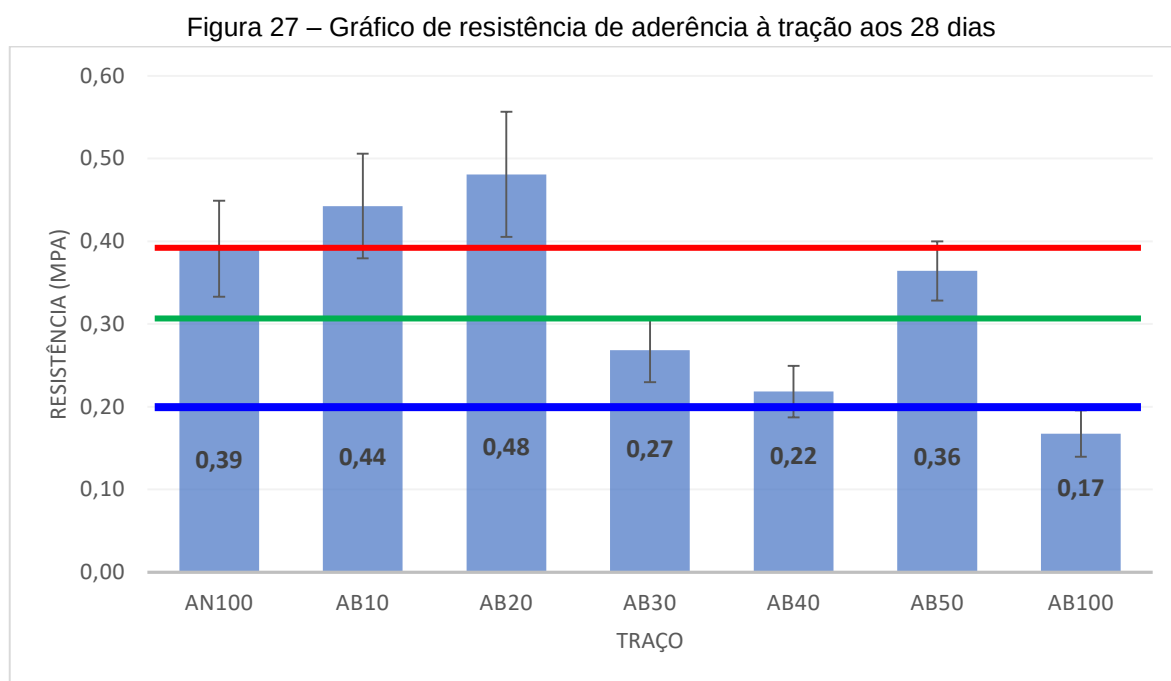


Fonte: Autor (2022).

4.3.2.5 Ensaio de Aderência à Tração

Foram realizados ensaios para determinação da resistência de aderência à tração para todos os traços propostos das argamassas na idade de 28 dias. Conforme determina a NBR 13258/2019 foram utilizados 12 corpos de prova, a NBR estabelece um valor mínimo de aderência à tração de 0,20MPa para revestimentos internos e 0,30MPa para revestimentos externos. O apêndice C traz as tabelas com os resultados de todos os corpos de prova avaliados, bem como sua forma de ruptura.

A primeira análise de resistência de aderência à tração foi feita com a média geral dos 12 corpos de prova para cada traço, mostrando AB 10 (0,44 Mpa) e AB 20 (0,48 Mpa) com valores superiores a AN 100 (0,39 Mpa). O traço AB 50 (0,36 Mpa) ficou acima do valor mínimo exigido para revestimentos externos (0,30 Mpa) pela NBR supracitada, enquanto os traços AB 30 (0,25) e AB 40 (0,21) ficaram acima no valor mínimo exigido para revestimentos internos. Na Figura 27 o gráfico mostra os resultados comparados com o traço de referência (linha vermelha) e com os valores mínimos exigidos pela NBR citada no parágrafo anterior para revestimentos externo (linha verde) e revestimento interno (linha azul). O CV está representado na forma de barras verticais em cada traço.



Fonte: Autor (2022).

Uma boa parte dos pesquisadores que estudaram argamassa com areia de britagem não realizaram o ensaio de aderência a tração, talvez por ser um ensaio com nível de complexidade elevado em relação aos outros ensaios para argamassa, contudo dentre os pesquisadores que realizaram este ensaio é possível notar que os resultados encontrados nesta pesquisa foram melhores do que os encontrados por Rosa (2013) e Diógenes (2016).

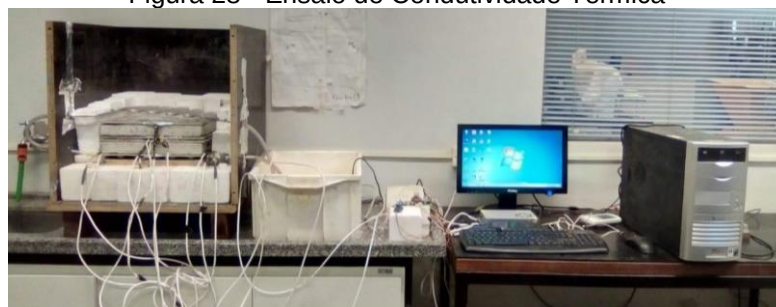
Quanto a forma de ruptura dos corpos de prova nota-se que a maioria dos CPs (72%) teve ruptura total na argamassa, seguida por ruptura parcial entre argamassa e chapisco (21%) e o restante tendo ruptura total na interface entre argamassa e chapisco (7%), todos do traço AB 100. O apêndice C traz uma tabela detalhada mostrando a forma de ruptura de cada CP estudado.

A análise estatística ANOVA apontou uma diferença significativa entre os traços, enquanto o teste Tukey mostrou uma semelhança entre os traços AB 10, AB 50 e AN 100. Já o traço AB 20 possui uma diferença significativa à AN 100. Esses resultados corroboram com os dados numéricos que mostram AB 20 com a melhor média entre todos os traços estudados.

4.3.2.6 Avaliação da condutividade térmica

A avaliação da condutividade térmica foi realizada em corpos de prova com dimensões de 32 cm x 32 cm, com espessura de 4,0 cm. Sendo assim, a avaliação foi determinada para cada um dos traços, com conjuntos de dois corpos de prova para cada leitura. A Figura 28 ilustra a realização do ensaio, enquanto a Tabela 12 apresenta os resultados obtidos.

Figura 28 - Ensaio de Condutividade Térmica



Fonte: Autor (2022).

Tabela 12 - Resultado dos ensaios de Condutividade Térmica

Traço	Condutividade Térmica (W/m.k)		
	Corpo de Prova 1	Corpo de Prova 2	Média
AN100	0,89	1,01	0,95
AB10	0,89	0,99	0,94
AB20	0,88	0,98	0,93
AB30	0,90	1,02	0,96
AB40	0,89	1,01	0,95
AB50	0,88	1,00	0,94
AB100	0,89	0,90	0,895

Fonte: Autor (2022).

Com relação a condutividade térmica os resultados obtidos foram bastante satisfatórios, comparando com o traço de referência, os valores permaneceram estáveis, com baixas variações. Considerando que a NBR 15220-2 (2005) sugere um valor de 1,15 W/(m.K) e considerando que melhor é para o ambiente construído quanto menor for a condutividade térmica da argamassa, pode-se afirmar que a adição de areia de britagem não altera a condutividade térmica da argamassa de forma significativa.

Corroborando para a afirmativa acima tem-se que os valores de condutividade térmica foram melhores que os usados como valores de referência por Passos et.al (2016), Sikora et.al. (2017), Silva (2017), Latroch et.al. (2018) e Badache et.al. (2018).

4.4 Classificação das argamassas

Segundo a NBR 13281 (ABNT, 2005), as argamassas destinadas ao assentamento de paredes ou ao revestimento de paredes e tetos devem cumprir os requisitos estabelecidos (apresentados no capítulo 2.0 deste trabalho), sendo classificadas conforme as características e propriedades que apresentam nos ensaios. A classificação das argamassas produzidas neste trabalho é mostrada na Tabela 13.

Tabela 13 – Classificação das argamassas estudadas

Ensaio/Traço	AN 100	AB 10	AB 20	AB 30	AB 40	AB 50	AB 100
Resistência a compressão	P3	P3	P4	P3	P4	P3	P3
Resistência à tração na flexão	R1	R2	R3	R2	R2	R2	R1
Coeficiente de Capilaridade	C5	C5	C5	C6	C6	C6	C6
Densidade no estado endurecido	M5	M5	M5	M5	M6	M6	M6
Densidade no estado fresco	D5	D5	D5	D5	D5	D5	D5
Aderência à tração	A3	A3	A3	A2	A2	A2	A1

Fonte: Autor (2022).

Com base na classificação estabelecida pela NBR supracitada, a melhor argamassa produzida neste estudo refere-se ao traço AB 20, que obteve a classificação mais alta nos ensaios realizados, quando comparada com os demais traços produzidos.

5 CONSIDERAÇÕES

A análise dos índices físicos das areias demonstrou que a areia de britagem provinda de rochas basálticas da região de Bauru/SP apresenta as massas específicas e unitária maiores que as da areia natural, além de possuir mais material pulverulento em sua composição.

Na forma e textura dos grãos a areia de britagem apresenta grãos angulosos, irregulares e com rugosidade, enquanto a areia natural tem grãos arredondados e homogêneos. Esta diferença entre as areias nas misturas das argamassas produz uma compensação entre as frações.

Conforme se aumenta a quantidade de areia de britagem nas argamassas há uma tendência de redução do índice de consistência, sendo necessária o acréscimo de água ou aditivos para obtenção de uma melhor trabalhabilidade. As argamassas confeccionadas com 100% de areia de britagem apresentaram maiores percentuais de ar incorporado em comparação com a argamassa produzida com 100% de areia natural, possivelmente, em razão de maior concentração de material pulverulento existente na areia de britagem.

Com relação aos ensaios da argamassa no estado endurecido obteve-se valores dentro do observado no referencial teórico. As argamassas com areia britada obtiveram resultados um pouco maiores de densidade massa em relação à argamassa de referência.

Os valores de resistências de tração na flexão, de compressão e de aderência à tração, apresentaram-se maiores nas argamassas confeccionadas com substituição de 10% e 20% areia de britagem quando comparadas com a argamassa de referência, que utilizou 100% de areia natural. Esse fato possivelmente ocorre devido ao fato de que na faixa de 10 a 20% estarem as melhores curvas granulométricas da areia.

Com relação a condutividade térmica das argamassas compostas com areia de britagem, pode-se afirmar que sua presença não interfere nesta propriedade, quando comparadas com as argamassas compostas apenas com areia natural.

Notou-se até uma melhora no traço com 100% de areia de britagem, ocasionado provavelmente pelo maior teor de ar incorporado e porosidade deste traço.

Atualmente a argamassa com areia de britagem, tanto para assentamento quanto para revestimento, é pouco utilizada no setor da construção na Região de Bauru/SP, possivelmente devido a esse agregado não possuir uma granulometria uniforme e por desconhecimento do desempenho desse material. Entretanto as reservas de rochas basálticas são abundantes na Região de Bauru/SP.

A presente pesquisa procurou estudar o desempenho de argamassas fabricadas com incorporação de areia de britagem provenientes das pedreiras localizadas na Região de Bauru/SP. 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.

Pode se afirmar que é viável a substituição da areia natural pela areia de britagem para produção de argamassas melhorando o desempenho dos revestimentos, na proporção de 20% de areia de britagem e 80% de areia natural (Traço AB20) para revestimentos externos e para revestimentos internos, em áreas secas, a substituição pode chegar até a 50% de areia de britagem (Traço AB50), sem comprometer a qualidade do revestimento executado.

Desta forma apenas o traço AB 100 tem uma trabalhabilidade que praticamente inviabiliza seu uso para argamassa de revestimento, mas no entanto, pode ser aproveitado para assentamento de tijolos, sendo esse estudo recomendado para trabalhos futuros.

Este estudo experimental permitiu aprofundar o conhecimento sobre as propriedades de argamassas com incorporação de areia de britagem, em particular na Região de Bauru/SP, 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 alguns pontos que merecerem estudos futuros.

Recomenda-se para trabalhos 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;
- Estudar o comportamento de argamassas com incorporação de areia britada utilizando outros tipos de ligantes.
- Avaliar o desempenho das argamassas com areia de britagem de rochas basálticas em função de seu envelhecimento ao longo do tempo, com exposição as intempéries.
- Analisar o comportamento das argamassas em ensaios de envelhecimento acelerado, afim de verificar o surgimento de patologias.
- Estudar a aplicação de argamassa com 100% de areia de britagem para assentamento de paredes.

REFERÊNCIAS

ABCP: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de revestimento de argamassa**. São Paulo: ASBP, 2003.

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

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

ABNT _____. **NBR 11579**: Cimento Portland Determinação do índice de finura por meio da peneira nº 200. Rio de Janeiro, 2012.

ABNT _____. **NBR 12826**: Cimento Portland e outros materiais em pó Determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico. Rio de Janeiro, 1993.

ABNT _____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

ABNT _____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

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

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

ABNT _____. **NBR 15261**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos Determinação da variação dimensional (Retração ou expansão linear). Rio de Janeiro, 2005.

ABNT _____. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações- Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT _____. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

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

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

ABNT _____. **NBR NM 46:** Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem. Rio de Janeiro, 2006.

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

ABNT _____. **NBR NM 65:** Cimento Portland - Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

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

ANTAC: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Grupo Argamassas.** 2020. Disponível em: < <https://www.antac.org.br/argamassa> > Acesso em: 10 jan. 2020.

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.

ALMEIDA DIAS, L.; CARASEK, H. Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo *In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, 2003, Santa Catarina. **Anais...** Brasil, 2003.

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.

ANGELIM R. R., ANGELIM S. C. M., CARASEK, H. Influência 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.

ANGULO, S.C. **Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados e a influência de suas características no comportamento de concretos.** 2005. 236 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia e Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

ANEPAC: ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS ENTIDADES DE PRODUTORES DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO. www.anepac.org.br. Acesso em 13 de maio de 2021.

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.; BICALHO, K.V.; TRISTÃO, F.A. Análise de imagens na determinação da forma e textura de areias. **Revista Brasileira de Ciências do Solo.** vol. 39 nº.1 Viçosa Jan./Feb. 2015.
<http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcS20150274>

ARAÚJO, R.C. **Avaliação da viabilidade do emprego do ensaio cisalhamento direto para caracterização reológica de argamassas.** 2015. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2015.

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.

ASSUNÇÃO, L. T.; CARVALHO, G. F.; BARATA, M. S. Avaliação das propriedades das argamassas de revestimento produzidas com resíduos da construção e de demolição como agregado. **Exacta**, v.5, n.2, p. 223-230, jul./dez. São Paulo, 2007.

BADACHE, A.; BENOSMAN, A. S.; SENHADJI, Y.; MOULI, M. Thermo-physical and mechanical characteristics of sand-based lightweight composite mortars with recycled high-density polyethylene (HDPE). **Construction and Building Materials**, v. 163, p. 40–52, 28 fev. 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.069>.

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.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA. Resolução no 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, no 136, 17 de julho de 2002.

BRASIL. Lei nº 11.145, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, no 5, 08 de janeiro de 2007.

BRASIL. LEI Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 03 de agosto de 2010.

BRASIL MINERAL. **O novo normal na indústria de agregados**. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/o-%E2%80%9Cnovo-normal%E2%80%9D-na-ind%C3%BAstria-de-agregados>. Acesso em: 22/03/2021.

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 potential 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.

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.

CANOVA, J. A. Substituição do cimento por finos de britagem em argamassa de revestimento. **Ciência & Engenharia**, v. 26, n. 2, p. 11–19, 9 Mar 2018.

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.; ARAÚJO, R.C.; CASCUDO, O.; ANGELIN, R. Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.21, n.3, pp. 714 –732, 2016.

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.

CARASEK, H.; GIRARDI, A.C.C.; ARAÚJO, R.C.; ANGELIN, R.; CASCUDO, O. Estudo e avaliação de agregados reciclados de resíduo de construção e demolição para argamassas de assentamento e de revestimento. **Revista Cerâmica**, São Paulo, v.64, n.64, p. 288-300, 2018.

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.

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.

CECHIN, L.; TOKARSHI, R. B.; TRENTON, 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.

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.; 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.

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.

D'AGOSTINO, L. Z. **Uso de finos de pedreira 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.

DIÓGENES, A. G.; **Estudo do comportamento de argamassas de revestimento com areia de britagem da Região Metropolitana de Fortaleza.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

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.

FALCÃO BAUER, L. A. **Materiais de Construção.** Volume 1. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

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

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução.** 2 ed. São Paulo: PINI, 2013.

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, 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.

FONTES, T. I. M. **Argamassas de cal hidráulica natural NHL3.5 de fabrico nacional: otimização de características com resíduo cerâmico e metacaulino**. 2013. masterThesis – Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/10390>. Acesso em: 1 ago. 2021.

GOLDONI, A.G.; PANDOLFO, L.M.; GOMES, A.P.; FOLLE, D.; MARTINS, M.S.; PANDOLFO, A. Avaliação de um método baseado em análise de imagens para obtenção de parâmetros de forma em grãos de areia de britagem. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 8, n. 5, p. 584-590, out./2015.

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.

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 Brick and 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.

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

INTERCEMENT BRASIL. Cimento Cauê Uso Geral. 2022. Disponível em: <https://brasil.intercement.com/produto/cimento-caue-uso-geral/>. Acesso em: 10/01/2022.

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

ISHIKAWA, P. H.; CAMARINI, G. Comportamento da areia artificial, de origem granítica, na argamassa para assentamento de bloco de concreto simples para alvenaria. *In: SUFFIB – SEMINÁRIO: Uso da Fração Fina da Britagem*, 2, 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2005. P.47-62.

JOCHM, 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.

LAKRAFLI, H.; TAHIRI, S.; ALBIZANE, A.; EL OTMANI, M. E. Effect of wet blue chromeshaving and buffing dust of leather industry on the thermal conductivity of cement and plaster based materials. **Construction and Building Materials**, v. 30, p. 590–596, 1 maio 2012. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.041>.

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

LATROCH, N.; BENOSMAN, A. S.; BOUHAMOU, N.-E.; SENHADJI, Y.; MOULI, M. Physico-mechanical and thermal properties of composite mortars containing lightweight aggregates of expanded polyvinyl chloride. **Construction and Building Materials**, v. 175, p. 77–87, 30 jun. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.173>.

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.

LI, L.; CHAN, P. ZOLLINGER, D. G.; LYTTON, R. L. Quantitative Analysis of Aggregate Shape Based on 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.

LOHANI, T. K.; PADHI, M.; DASH, K. P.; JENA, S. Optimum utilization of quarry dust as partial replacement of sand in concrete. *International 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.

LUCAS, C. N. M.; SCALON, V. L.; AZAMBUJA, M. A. Medição da condutividade térmica em concreto leve produzido com resíduo de pedra basáltica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO ONLINE DE GESTÃO URBANA, 5., 2021, **Anais....** ANAP, 2021. p. 869-883.

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.

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.

MENOSSE, R. T. **Utilização do pó de pedra basáltica 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 recycledaggregaterendering: Part 1 – analysisoftheeffectofMaterialsfinerthan 75 µmonmortar.** *In: Constructionand 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 modulo de elasticidade de argamassas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS*, 7., 2007, Recife. **Anais...** Recife: ANTAC, 2007.

MONTEIRO, M. M. **Caracterização de Argamassas com Incorporação de Resíduos de Casca e Palha de Arroz.** 2015. 73f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC), Coimbra, 2015.

MORAES, C. A. M., KIELING, A. G.; CAETANO, M. O.; GOMES, L. P. Life cycleanalysis (LCA) for theincorporationof rice huskash in mortarcoating. **Resources, ConservationandRecycling**, 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 temperature 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.; Useofcrushed rock poder as replacementof fine aggregate in mortarand concrete. **Journal os 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.

NIEBEL, P. R.; CAMPTLI, 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.

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.

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.

PASSOS, P. M. dos; CARASEK, H.; AMARAL, G.M. Avaliação da capacidade isolante térmica de revestimentos de argamassa. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*. 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. p.282-298.

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.

PITEIRA, R. M. V. **Argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de borracha de recauchutagem de pneus**. 2015. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa (UNL), Lisboa, 2015.

POLITO, G.; CARVALHO JR, A. N.; BRANDÃO, P. R. G. Caracterização microestrutural da interface argamassa mista/bloco cerâmico. **Ambiente 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.

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

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 aggregategrading 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, W. J. dos; ALVARENGA, R. de C. S.; SILVA, R. C. da; PETROTI, L. G.; SOUZA, A. T.; FREIRE, A. S. Análise da influência do tipo de agregado miúdo nas características e dosagem de argamassas mistas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 271-288, out./dez. 2019.

SANTOS, W. J. dos; ALVARENGA, R. de C. S. S.; PEDROTI, L. G.; SILVA, R. C. da; FREIRE, A. S.; MORAES, B. A. de; CARVALHO, C. C. Proposta de método de dosagem para argamassas de revestimento com areia artificial de britagem. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 225-243, jan./mar. 2018.

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.

SENEFF, 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. **ARP Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 1, n. 2, p. 1-4, ago. 2006.

SIKORA, P.; HORSZCZARUK, E.; SKOCZYLAS, K.; RUCINSKA, T. Thermal Properties of Cement Mortars Containing Waste Glass Aggregate and Nanosilica. **Procedia Engineering**, Creative Construction Conference 2017, CCC 2017, 19-22 June 2017, Primosten, Croatia. v. 196, p. 159–166, 1 jan. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.186>.

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, A. P. M. R. da. Impacte de argamassas com pellets de madeira no desempenho energético de um edifício residencial – modelação numérica e experimental. nov. 2017. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/31899>. Acesso em: 2 ago. 2021.

SILVA, C. M.; FLORES-COLEN, I.; GASPAR, S. Numerical analysis of bonders' adhesion using a new 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 EM ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBTA, 2005. p.12-22.

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 EM 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 EM 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.

SILVA, Narciso Gonçalves Da. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 2006. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/4660>>. Acesso em: 7 abr 2021.

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.

SPIEGEL, M. R.; STEPHENS, L. J. **Estatística**. 4 ed. São Paulo: Bookman, 2009.

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.

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.

SUPERCAL. Cal Hidratada CH-III aditivada. 2022. Disponível em: <<https://ical.com.br/cal.html>> Acesso em: 10/01/2022.

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.

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

TOKARSKI, R. B. **Comportamento da areia de britagem de rocha calcária na argamassa de revestimento**. 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/2736>>. Acesso em: 4 mar 2021.

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.

Apêndices

Apêndice A - Ensaios de resistência à tração na flexão

Resistência à tração na flexão aos 14 dias							
CP	AB10	AB20	AB30	AB40	AB50	AB100	AN100
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	1,86	2,10	1,60	1,96	1,79	1,30	1,64
2	1,94	1,92	1,57	1,65	1,82	1,28	1,43
3	1,98	1,95	1,63	1,82	1,83	1,41	1,61
4	2,13	1,72	1,54	1,88	1,74	1,36	1,57
5	2,09	1,99	1,14	1,90	1,77	1,31	1,60
6	2,09	1,92	1,48	1,22	1,98	1,34	1,56
7	1,70	2,00	1,53	1,86	2,06	1,30	1,57
8	2,02	1,85	1,51	1,90	1,92	1,30	1,48
9	1,96	2,15	1,58	2,08	1,64	1,45	0,34
10	2,23	1,93	1,51	1,50	1,77	1,27	1,73
11	1,71	1,64	1,64	1,99	1,94	1,47	1,62
12	1,94	1,90	1,65	1,90	1,93	1,47	1,57
Média	1,97	1,92	1,53	1,81	1,85	1,36	1,48
D.P.	0,16	0,14	0,14	0,24	0,12	0,08	0,37
C.V.(%)	8,08	7,38	8,82	13,25	6,40	5,57	24,77

Resistência à tração na flexão aos 28 dias							
CP	AB10	AB20	AB30	AB40	AB50	AB100	AN100
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	1,63	1,99	1,55	1,87	1,80	1,12	1,60
2	1,67	1,87	1,55	1,82	1,71	1,31	1,55
3	1,82	1,99	1,51	1,82	1,57	1,27	1,57
4	1,84	2,15	1,51	1,95	1,64	1,46	1,41
5	2,06	2,09	1,70	2,08	1,62	1,41	1,23
6	2,22	1,62	1,65	1,92	1,54	1,41	1,71
7	1,88	2,35	1,70	1,94	1,49	1,43	1,33
8	1,83	1,79	1,65	1,80	1,87	1,38	1,41
9	1,80	2,00	1,77	1,84	1,87	1,28	1,56
10	2,12	2,12	1,86	1,98	1,97	1,45	1,49
11	1,92	2,13	1,49	2,08	1,44	1,45	1,51
12	1,77	2,04	1,84	1,91	1,93	1,22	1,51
Média	1,88	2,01	1,65	1,92	1,70	1,35	1,49
D.P.	0,18	0,19	0,13	0,10	0,18	0,11	0,13
C.V.(%)	9,35	9,36	7,85	4,96	10,58	8,04	8,64

Resistência à tração na flexão aos 56 dias							
CP	AB10	AB20	AB30	AB40	AB50	AB100	AN100
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	1,98	2,15	1,69	2,03	1,92	1,49	1,90
2	1,85	1,66	1,48	1,99	1,98	1,70	1,78
3	1,95	1,72	1,91	2,24	1,95	1,56	1,45
4	1,85	1,98	1,45	1,54	1,63	1,47	1,30
5	2,08	2,16	1,42	2,24	2,09	1,48	1,54
6	2,25	2,29	1,55	1,86	1,83	1,50	1,69
7	1,98	2,30	1,59	2,23	1,70	1,58	1,76
8	1,99	1,75	1,62	2,01	1,94	1,48	1,84
9	1,97	2,30	1,74	2,32	2,07	1,74	1,47
10	2,25	2,11	1,73	1,97	2,04	1,27	1,47
11	2,09	2,06	1,49	1,96	2,14	1,38	1,66
12	2,06	2,41	1,90	1,98	2,13	1,53	1,56
Média	2,03	2,07	1,63	2,03	1,95	1,52	1,62
D.P.	0,13	0,25	0,17	0,21	0,16	0,13	0,18
C.V.(%)	6,40	12,05	10,19	10,44	8,34	8,32	11,25

Apêndice B - Ensaios de resistência à compressão

Resistência à compressão aos 14 dias							
CP	AB10	AB20	AB30	AB40	AB50	AB100	AN100
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	3,22	5,83	4,17	4,77	3,16	3,22	3,57
2	3,45	5,42	3,26	4,46	5,30	3,86	4,39
3	3,64	4,61	3,39	4,43	3,06	3,42	4,34
4	4,09	4,53	4,60	3,68	4,24	2,73	3,06
5	4,05	5,03	4,17	5,05	2,59	2,10	4,31
6	4,13	5,07	3,59	4,05	5,54	3,50	3,23
7	3,47	4,97	3,18	5,37	3,40	2,44	3,00
8	4,81	4,43	3,90	3,88	5,37	2,19	3,36
9	3,03	5,01	3,15	5,41	3,86	2,96	3,29
10	3,68	4,41	3,54	3,90	4,66	2,71	4,17
11	4,63	5,48	4,12	5,64	3,00	3,27	4,40
12	3,81	5,47	3,26	4,01	5,16	3,30	2,84
13	2,93	4,92	4,45	4,99	4,70	2,98	4,05
14	3,45	4,93	3,91	3,88	5,61	3,26	2,73
15	3,58	3,95	4,09	5,50	3,53	3,23	3,09
16	3,99	4,96	3,50	4,11	5,04	2,37	4,19
17	3,76	4,77	4,39	4,34	3,65	3,39	2,84
18	4,09	4,45	3,30	4,39	5,14	2,87	3,97
19	3,65	4,82	4,39	5,56	3,21	2,52	2,76
20	4,90	5,19	3,51	4,64	4,96	2,51	3,72
21	3,64	4,14	3,63	5,54	4,67	2,92	2,80
22	4,05	3,75	2,78	4,14	5,64	2,88	3,83
23	3,57	4,78	3,93	4,97	4,70	3,33	3,18
24	3,16	4,82	3,73	4,96	4,92	2,53	4,09
Média	3,78	4,82	3,75	4,65	4,38	2,94	3,55
D.P.	0,51	0,49	0,48	0,63	0,96	0,45	0,60
C.V.(%)	13,49	10,18	12,89	13,59	21,89	15,44	16,84

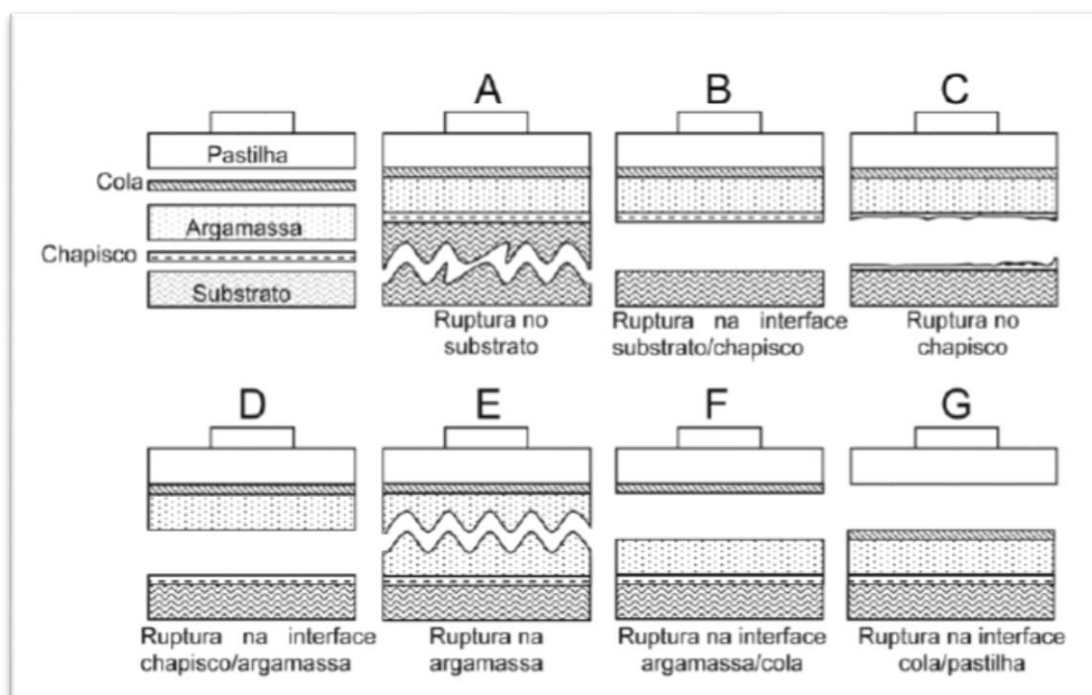
Resistência à compressão aos 28 dias							
CP	AB10	AB20	AB30	AB40	AB50	AB100	AN100
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	3,84	5,29	2,92	4,67	3,01	3,23	3,56
2	4,36	2,91	3,89	2,96	3,98	2,37	2,70
3	2,93	2,94	4,30	3,83	4,32	3,33	3,72
4	3,81	5,28	3,71	5,08	3,05	3,19	4,29
5	3,19	4,91	4,15	4,93	3,81	3,64	3,45
6	3,55	4,51	3,26	3,60	3,24	3,74	4,01
7	2,70	3,45	3,50	4,80	2,88	3,74	2,15
8	4,14	5,11	2,99	3,65	4,20	2,86	4,33
9	4,91	4,46	4,37	3,45	3,90	2,92	2,53
10	3,53	5,28	2,82	5,41	2,90	3,14	3,23
11	4,66	4,31	3,35	5,28	2,80	3,00	3,63
12	3,37	4,27	4,55	4,08	4,21	2,74	4,77
13	3,66	4,18	3,53	5,00	2,94	3,07	2,82
14	3,61	5,77	3,77	3,77	4,47	3,01	4,52
15	4,81	5,53	3,73	4,52	3,89	2,80	3,88
16	4,02	4,82	3,52	4,38	3,05	3,02	4,14
17	4,40	5,31	4,47	4,97	3,94	2,90	3,59
18	3,05	4,36	4,15	4,94	4,29	3,05	4,25
19	4,47	4,71	3,68	4,18	3,12	2,63	3,52
20	4,33	4,10	4,63	3,51	4,03	2,99	3,34
21	3,77	4,92	4,22	4,60	3,93	3,23	3,98
22	3,28	4,92	3,87	4,74	4,33	2,78	3,43
23	3,55	5,26	3,81	3,82	3,64	3,00	2,20
24	3,67	5,45	3,11	4,56	3,64	3,01	4,51
Média	3,82	4,67	3,76	4,36	3,65	3,06	3,61
D.P.	0,60	0,76	0,52	0,66	0,56	0,32	0,72
C.V.(%)	15,63	16,38	13,92	15,18	15,26	10,63	20,06

Resistência à compressão aos 56 dias							
CP	AB10	AB20	AB30	AB40	AB50	AB100	AN100
	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1	3,77	4,36	3,28	3,93	3,32	3,94	2,89
2	3,78	4,14	3,90	4,95	3,68	3,32	2,70
3	3,25	4,25	3,45	3,63	4,04	2,45	3,82
4	3,15	4,17	3,06	5,41	3,89	3,20	3,49
5	3,20	3,97	3,97	4,26	3,34	3,57	3,11
6	3,54	4,61	3,29	4,48	3,43	3,20	2,99
7	2,71	3,95	2,97	5,18	4,16	2,87	3,53
8	4,13	3,63	2,98	3,73	3,84	2,62	2,97
9	4,92	5,75	2,51	4,18	3,56	3,49	2,87
10	3,52	5,28	2,58	4,88	3,81	3,08	2,78
11	4,65	4,20	2,97	5,82	3,93	2,65	3,19
12	3,38	4,19	3,24	6,86	3,91	2,97	3,57
13	3,64	4,56	3,16	4,35	3,10	2,58	2,85
14	3,59	3,47	4,19	5,32	3,33	3,18	3,27
15	4,79	4,94	2,41	3,86	4,58	2,97	2,92
16	3,99	5,17	3,40	3,94	3,39	3,33	3,68
17	4,42	4,91	2,59	4,19	4,20	2,90	3,62
18	3,09	3,54	3,78	5,56	2,72	2,79	3,47
19	4,48	4,96	3,20	4,73	4,16	4,61	2,99
20	4,36	5,20	3,98	4,10	3,47	4,17	3,06
21	3,78	4,94	2,64	4,18	4,51	3,15	3,28
22	3,25	4,82	3,25	4,94	3,06	3,04	3,40
23	3,56	4,69	2,84	4,39	3,56	3,00	3,55
24	3,68	4,45	4,28	4,21	3,86	3,01	3,34
Média	3,78	4,51	3,25	4,63	3,70	3,17	3,22
D.P.	0,58	0,58	0,54	0,77	0,46	0,51	0,32
C.V.(%)	15,42	12,97	16,65	16,63	12,36	15,96	9,97

Apêndice C - Ensaios de resistência de aderência à tração

Resistência de aderência à tração aos 28 dias														
CP	AB10	T.R.	AB20	T.R.	AB30	T.R.	AB40	T.R.	AB50	T.R.	AB100	T.R.	AN100	T.R.
	MPa		MPa		MPa		MPa		MPa		MPa		MPa	
1	0,47	E	0,55	E	0,19	E/C	0,17	E/C	0,32	E/C	0,17	E	0,34	E/C
2	0,49	E	0,48	E	0,29	E	0,23	E	0,39	E	0,12	C	0,31	E
3	0,48	E	0,36	E/C	0,27	E	0,27	E	0,38	E	0,16	C	0,38	E/C
4	0,48	E	0,39	E	0,25	E	0,25	E	0,4	E	0,13	C	0,38	E
5	0,47	E	0,48	E/C	0,28	E	0,22	E	0,33	E/C	0,21	E	0,45	E
6	0,38	C	0,41	E	0,34	E	0,25	E	0,41	E	0,16	E	0,45	E
7	0,46	E	0,47	E	0,24	C	0,2	E/C	0,33	E	0,16	E	0,32	C/E
8	0,56	E	0,5	E	0,32	E	0,19	E/C	0,39	E	0,16	E	0,48	E
9	0,43	C/E	0,43	E/C	0,28	C/E	0,24	E	0,37	E	0,16	E	0,44	E
10	0,35	C	0,58	E	0,26	C	0,22	E	0,36	E	0,17	E	0,38	E
11	0,36	C	0,61	E	0,25	C	0,2	E	0,3	E/C	0,21	E	0,33	E/C
12	0,38	E	0,51	E	0,25	E	0,18	E/C	0,39	E	0,2	E	0,43	E
Média	0,44		0,48		0,27		0,22		0,36		0,17		0,39	
D.P.	0,06		0,08		0,04		0,03		0,04		0,03		0,06	
C.V.(%)	14,30		15,75		14,46		14,20		9,83		16,72		14,86	

Figura C1 - Tipos de rupturas do corpo de prova na aderência à tração



Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010).

Apêndice D - Cálculos estatísticos ANOVA e Tukey

Análise ANOVA com 95% de confiança para resistência à tração na flexão aos 28 dias

Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	4,14313	6	0,690521	31,59	7,12E-19	4,72
Dentro dos grupos	1,68294	77	0,0218564			
Total	5,82607	83				
Legenda: SQ: Somas de Quadrados; GL: Graus de Liberdade; MQ: Quadrados Médios						

Fonte: Autor, com base no software Past 4.03 (2022).

Teste Tukey, para resistência à tração na flexão, com intervalo de confiança 95%

TUKEY - Resistência à Tração na Flexão							
	AB10	AB20	AB30	AB40	AB50	AB100	AN100
AB10		0,3175	0,004534	0,9959	0,06708	0	1,77E-07
AB20	3,085		1,14E-06	0,7076	4,86E-05	0	0
AB30	5,428	8,513		0,000532	0,9674	8,29E-05	0,1333
AB40	0,8787	2,206	6,307		0,01183	0	1,20E-08
AB50	4,12	7,205	1,308	4,999		2,03E-06	0,01134
AB100	12,44	15,52	7,01	13,32	8,318		0,2419
AN100	9,138	12,22	3,71	10,02	5,018	3,3	
Obs.: As diferenças significativas estão pintadas, acima da diagonal.							

Fonte: Autor, com base no software Past 4.03 (2022).

Análise ANOVA com 95% de confiança para resistência à compressão aos 28 dias

Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	40,1094	6	6,6849	18,05	5,83E-16	8,25
Dentro dos grupos	59,6221	161	0,370324			
Total	99,7315	167				
Legenda: SQ: Somas de Quadrados; GL: Graus de Liberdade; MQ: Quadrados Médios						

Fonte: Autor, com base no software Past 4.03 (2022).

Teste Tukey, para resistência à compressão, com intervalo de confiança 95%

TUKEY - Resistência à Compressão							
	AB10	AB20	AB30	AB40	AB50	AB100	AN100
AB10		5,91E-05	0,9999	0,03505	0,962	0,000523	0,8936
AB20	6,856		1,48E-05	0,5929	6,88E-07	0	2,07E-07
AB30	0,4394	7,296		0,01359	0,995	0,001735	0,9739
AB40	4,401	2,455	4,84		0,001408	1,21E-10	0,000553
AB50	1,355	8,211	0,9157	5,756		0,01621	1
AB100	6,117	12,97	5,678	10,52	4,762		0,03363
AN100	1,696	8,552	1,257	6,097	0,3408	4,421	

Obs.: As diferenças significativas estão pintadas, acima da diagonal.

Fonte: Autor, com base no software Past 4.03 (2022).

Análise ANOVA com 95% de confiança para resistência à aderência aos 28 dias

Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	1,0206	6	0,1701	45,97	1,75E-23	12,25
Dentro dos grupos	0,284892	77	0,0037			
Total	1,30549	83				

Legenda: SQ: Somas de Quadrados; GL: Graus de Liberdade; MQ: Quadrados Médios

Fonte: Autor, com base no software Past 4.03 (2022).

Teste Tukey, para resistência à aderência, com intervalo de confiança 95%

TUKEY - Aderência à Tração							
	AB10	AB20	AB30	AB40	AB50	AB100	AN100
AB10		0,7577	5,58E-10	0	0,03559	0	0,3744
AB20	2,088		0	0	0,000284	0	0,01104
AB30	10,96	13,05		0,8611	0,000321	0,02221	4,84E-06
AB40	12,77	14,85	1,803		2,11E-06	0,3944	2,18E-08
AB50	4,461	6,549	6,502	8,305		2,24E-10	0,9339
AB100	15,66	17,75	4,698	2,895	11,2		0
AN100	2,942	5,031	8,021	9,824	1,519	12,72	

Obs.: As diferenças significativas estão pintadas, acima da diagonal.

Fonte: Autor, com base no software Past 4.03 (2022).