UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO

PAÔLA VALENTINI

INFLUÊNCIA DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E RUGOSIDADE DE SUBSTRATOS CERÂMICOS E DA ADIÇÃO DE FÍLER NA ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

São Leopoldo
2018

PAÔLA VALENTINI

INFLUÊNCIA DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E RUGOSIDADE DE SUBSTRATOS CERÂMICOS E DA ADIÇÃO DE FÍLER NA ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak

São Leopoldo

2018

V161i Valentini, Paôla.
Influência da absorção de água e rugosidade de substratos cerâmicos e da adição de fíler na aderência de argamassas de revestimento / Paôla Valentini. – 2018.
145 f. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2018.
"Orientador: Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak".

1. Argamassa. 2. Revestimentos. 3. Materiais de construção. I. Título.

CDU 691.53

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Carla Maria Goulart de Moraes – CRB 10/1252)

PAÔLA VALENTINI

INFLUÊNCIA DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E RUGOSIDADE DE SUBSTRATOS CERÂMICOS E DA ADIÇÃO DE FÍLER NA ADERÊNCIA DE ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

Aprovado em

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ângela Borges Masuero - UFRGS

Profa. Dra. Fernanda Macedo Pereira - ULBRA

Profa. Dra. Marlova Piva Kulakowski - UNISINOS

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José Luiz Valentini e Denise Valentini, que sempre priorizaram e incentivaram a minha educação e da minha irmã, fazendo enormes sacrifícios em prol disto. Sou muito grata por todos os valores que me ensinaram, sem vocês eu não estaria aqui e não teria essa aspiração por sempre ir em busca de novos conhecimentos.

A minha irmã, Giovanna Valentini, por todo o apoio, ajuda e palavras sinceras para que eu fosse sempre em frente. Agradeço por, muitas vezes, se passar por irmã mais velha, me protegendo, passando um pouco de conforto e também mostrando a realidade para que eu possa sempre crescer e evoluir cada vez mais.

Ao professor Claudio de Souza Kazmierczak, com quem tive a oportunidade de conviver e aprender muito desde o último ano da graduação, como orientador do trabalho de conclusão e na iniciação científica. Através da sua competência como profissional e incentivo, tive a motivação para seguir os estudos. Agradeço pela atenção, companheirismo e otimismo com os quais me impulsionaram a nunca desistir, mesmo com as adversidades encontradas.

Aos professores do PPGEC com os quais pude conviver, aprender e ver um outro lado da vida acadêmica com o qual me encantei: André Luis Korzenowski, Carlos Alberto Mendes Moraes, Feliciane Brehm, Luciana Paulo Gomes, Maurício Mancio, Em especial, a professora Marlova Piva Kulakowski, que me acolheu como uma de suas.

À secretária do PPGEC, Simone Trisch Käefer, sempre simpática e disposta a ajudar.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos do mestrado, sem a qual não teria como realizar este ideal.

Às empresas Bennter e Pauluzzi pela doação de materiais para a pesquisa.

Aos laboratoristas Alini Diehl Camacho, André Weber Stein, David Camacho, Ingrid Vergara Schörr, Júlio César Maia Daudt, Guilherme Procksch, Maurício Schäfer e Tiago Schuck por toda a ajuda e troca de ideias realizadas, ajudando a aprimorar a metodologia da dissertação.

Aos bolsistas Camila Werner, Igor Wiskow e Monique Lunardi, pelo seu apoio e comprometimento para que obtivesse sucesso em todos os ensaios realizados.

Aos meus colegas do mestrado, que se tornaram amigos, em especial à Patricia Guillante e Tatiane Isabel Hentges, que foram minhas colegas na graduação e fizeram com que nosso laço se fortalecesse muito mais nesta etapa, compartilhando experiências e servindo de suporte nos momentos difíceis. Agradeço ao Augusto Masiero Gil pelas palavras de incentivo e por me instigar a ser uma pessoa e profissional cada vez melhor. Espero que nosso laço jamais se perca.

As minhas amigas de fé, sempre presentes mesmo que à distância, Amanda Santos e Éllen Coronel, que passaram comigo por momentos únicos, distintos, alguns felizes e outros nem tanto. Que sempre me motivaram, me impulsionaram e nunca me deixaram cair. Que, muitas vezes, guardaram as próprias dores no bolso e vieram ao meu encontro para que eu pudesse me reerguer. Que sempre estão tentando me mostrar o meu lado melhor. Eu não tenho palavras suficientes para agradecer por tudo, vocês são pessoas essenciais, especiais e sempre estarão no meu coração.

Ao Ítalo Benedetti, que me acompanhou desde o início da graduação, e que foi o grande incentivador para que eu ingressasse no mestrado. Esteve comigo em um momento muito difícil e, na época, me deu toda atenção e carinho, mesmo tendo um trabalho de conclusão e vídeo-aulas intermináveis de estudo. Me mostrou que sou capaz e que posso ter um futuro brilhante. Não importa em qual direção que formos seguir, sempre terei uma afeição especial por ti e pelo o que vivemos.

Por fim, a Deus, pela vida, pela saúde, pela fé, pela beleza das coisas que já vi e já aprendi, pelos obstáculos que me fizeram crescer e ficar mais forte, pelas pessoas que conheci e pela conclusão desta etapa.

FONTES DE FINANCIAMENTO DA PESQUISA

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

RESUMO

Diversos fatores influenciam a durabilidade de argamassas de revestimento, sendo alguns deles: a absorção de água, porosidade e rugosidade da superfície do substrato; a execução, com o preparo ou não do substrato, a forma de aplicação e as condições de cura da argamassa; as condições climáticas, decorrentes da ação do vento, umidade e temperatura; e a própria argamassa com seus componentes. Partindo deste contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar fatores relacionados ao substrato e à argamassa que influenciam na resistência de aderência à tração de sistemas de revestimento. O programa experimental buscou avaliar a influência da absorção de água total, da absorção por capilaridade e da rugosidade de três substratos cerâmicos e também da adição de fíler na argamassa, na resistência de aderência à tração de sistemas de revestimento. Os substratos cerâmicos foram queimados nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C, sendo que, das 144 peças cerâmicas do estudo, metade receberam aplicação de hidrofugante. Sobre as peças cerâmicas foram aplicadas argamassas confeccionadas com areia natural de rio e cimento Portland CP II-Z-32, no traço 1:3, em massa, com e sem adição de 5% de pó de quartzo. A partir dos resultados encontrados observou-se que a maior resistência de aderência à tração foi obtida nos blocos cerâmicos com temperatura de queima de 800°C, que apresentam simultaneamente maior rugosidade e maior absorção capilar de água. Verificou-se também que a adição de fíler à argamassa aumentou a resistência de aderência quando aplicada sobre os blocos de maior rugosidade, não sendo observado o mesmo comportamento nos blocos de baixa rugosidade. De um modo geral, o uso de hidrofugante sobre as peças cerâmicas diminuiu os resultados de resistência de aderência além de alterar a forma de ruptura dos revestimentos.

Palavras-chave: absorção de água; rugosidade; fíler; substrato cerâmico; argamassas de revestimento; resistência de aderência.

ABSTRACT

The durability of coating mortars applied on substrates are influenced by the water absorption, porosity and roughness of the substrate surface; the preparation of the coating´s substrate, the method used to apply and the cure conditions of the mortar; beyond the climatic conditions, through the wind, humidity and temperature; and the mortar itself with its components. Based on this context, this research aims to evaluate factors related to the coating´s substrate and the rendering mortar that influence the adhesion strength of mortar coating systems. The experimental program aimed to evaluate the influence of total water absorption, capillary absorption and roughness of three ceramic substrates, as well as the use of filler in the mortar, in the adhesion strength of mortar coating systems. The ceramic substrates were burned at 800°C, 900°C and 1000°C, and of the 144 ceramic pieces of the study, 72 were painted with water repellent. The coating mortars were made with natural river sand and Portland cement CP II-Z-32, in the proportion 1: 3 (by mass), with and without adding 5% of quartz filler. It was observed that the highest tensile strength was obtained with the substrates of ceramic blocks burned at 800°C, which simultaneously present the higher roughness and higher water absorption. The use of filler in the mortar composition increased the adhesion strength when applied on the blocks of greater roughness. In general, the use of water repellent on the ceramic substracts decrease the adhesion strength of mortar coating systems and modify the kind of rupture of the coatings.

Key-words: water absorption; roughness; filler; ceramic substrate; coating mortars; adhesion strength.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática dos mecanismos de aderência da interface substrato/argamassa 35
Figura 2 – Perda de água de argamassas aplicadas em substratos cerâmicos com diferentes níveis de sucção de água 39
Figura 3 – Microscopia óptica com ampliação de 250 vezes e resolução de 0,76 µm da interface substrato/argamassa aos 28 dias 42
Figura 4 – Combinação dos fatores que afetam o atrito 44
Figura 5 – Interface da área de contato de substrato com rugosidade em multiescala 46
Figura 6 – Modelo de Wenzel 47
Figura 7 – Diferentes perfis de rugosidade com a mesma rugosidade média 47
Figura 8 – Simulação do recobrimento da superfície do bloco cerâmico por uma matriz polidispersa constituída de cimento e o fíler calcário 53
Figura 9 – Delimitação prévia dos locais de ensaio com a utilização de anéis de PVC no substrato cerâmico 55
Figura 10 – Fotografia obtida em lupa estereoscópica, com ampliação de 20 vezes de argamassa de cimento e areia aplicada em substrato com face ondulada 56
Figura 11 – Extensão de aderência em substratos de 900°C com teor referência, teor de 5% e 10% de cinza de casca de arroz nas argamassas de revestimento 57
Figura 12 – Organograma do programa experimental 60
Figura 13 – Blocos cerâmicos utilizados na pesquisa 63
Figura 14 – Esquema do corte do bloco cerâmico em peças de dimensões aproximadas de 5 x 5 cm 63
Figura 15 – Distribuição granulométrica do cimento CP II-Z-32 e do pó de quartzo 66
Figura 16 – Peças cerâmicas durante ensaio de absorção de água por capilaridade 68
Figura 17 – Esquema do modo de nomenclatura das peças cerâmicas no ensaio de rugosidade 70
Figura 18 – Exsudação da argamassa de traço 1:9 71
Figura 19 – Gabarito de aplicação das argamassas de revestimento nas peças cerâmicas 73
Figura 20 – Soquete metálico aplicado sobre o sistema de revestimento 74
Figura 21 – Conjuntos dentro de recipiente com umidade controlada através de sensor 75

Figura 22 – Área efetiva de ruptura de amostras arrancadas no ensaio de resistência de aderência à tração.....80
Figura 23 – Índice de absorção de água médio das peças cerâmicas obtidas sob diferentes temperaturas de queima.....82
Figura 24 – Coeficiente de capilaridade médio das peças cerâmicas obtidas sob diferentes temperaturas de queima.....83
Figura 25 – Perfis de rugosidade das peças cerâmicas com diferentes temperaturas..85
Figura 26 – Comportamento reológico das argamassas aos 15 minutos.....88
Figura 27 – Comportamento reológico das argamassas aos 10 minutos.....89
Figura 28 – Resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento.....98
Figura 29 – Média dos resultados de resistência de aderência à tração e rugosidade das peças cerâmicas de acordo com a temperatura de queima.....99
Figura 30 – Coeficiente de capilaridade das peças cerâmicas e resistência de aderência à tração dos conjuntos.....101
Figura 31 – Relação de tendência de comportamento entre o coeficiente de capilaridade e a resistência de aderência à tração.....102
Figura 32 – Índice de absorção de água das peças cerâmicas e resistência de aderência à tração dos conjuntos.....102
Figura 33 – Relação de tendência de comportamento entre índice de absorção de água e resistência de aderência à tração.....103
Figura 34 – Comparação dos resultados de resistência de aderência à tração dos conjuntos realizados sem e com hidrofugante.....104
Figura 35 – Resistência de aderência à tração nos conjuntos com argamassas de referência.....106
Figura 36 – Resistência de aderência à tração nos conjuntos com argamassas com adição de fíler.....107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dissertações realizadas com enfoque em argamassas de revestimento ... 29
Quadro 2 – Tendências de comportamento de argamassas com utilização de areia de britagem ... 50
Quadro 3 – Fatores de controle e variáveis de resposta ... 61
Quadro 4 – Nomenclatura das peças cerâmicas utilizadas no ensaio de rugosidade ... 70
Quadro 5 – Legenda dos sistemas de revestimento ... 75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características da rugosidade R_a 43
Tabela 2 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única 54
Tabela 3 – Caracterização física e mecânica do cimento Portland CP II-Z-32 64
Tabela 4 – Caracterização química do cimento Portland CP II-Z-32 64
Tabela 5 – Caracterização da areia de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR NM 52 (ABNT, 2009) 65
Tabela 6 – Composição granulométrica da areia de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003) 65
Tabela 7 – Características típicas e referenciais do pó de quartzo 66
Tabela 8 – Análise de variância (ANOVA) do índice de absorção de água sobre as diferentes temperaturas de queima dos substratos 82
Tabela 9 – Análise de variância (ANOVA) do coeficiente de capilaridade sobre as diferentes temperaturas de queima dos substratos 84
Tabela 10 – Rugosidade das peças cerâmicas com diferentes temperaturas de queima 84
Tabela 11 – Rugosidade das peças cerâmicas com temperatura de queima de 900°C em diferentes blocos 86
Tabela 12 – Caracterização das argamassas no estado fresco 87
Tabela 13 – Valores médios de caracterização das argamassas no estado endurecido 90
Tabela 14 – Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 800°C sem hidrofugante 91
Tabela 15 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 800°C sem hidrofugante 92
Tabela 16 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 800°C com hidrofugante 92
Tabela 17 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 800°C com hidrofugante 93
Tabela 18 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 900°C sem hidrofugante 93
Tabela 19 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 900°C sem hidrofugante 94

Tabela 20 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 900°C com hidrofugante 94
Tabela 21 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 900°C com hidrofugante.....95
Tabela 22 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 1000°C sem hidrofugante 95
Tabela 23 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 1000°C sem hidrofugante.....96
Tabela 24 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 1000°C com hidrofugante 96
Tabela 25 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 1000°C com hidrofugante.....97
Tabela 26 - Análise de variância (ANOVA) da resistência de aderência à tração dos conjuntos sobre as diferentes temperaturas de queima dos substratos.....100
Tabela 27 - Análise de variância (ANOVA) da resistência de aderência à tração dos conjuntos sobre o uso de hidrofugante nos substratos 105
Tabela 28 – Análise de variância (ANOVA) da resistência de aderência à tração dos conjuntos sobre a utilização de fíler nas argamassas 107

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de variância
Cahier	Caderno
C-S-H	Calcium silicate hydrate / Silicato de cálcio hidratado
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DIN	Deutsches Institut für Normung
DRX	Difração de Raios X
EDS	Espectroscopia por Dispersão de Energia de Raios X
EN	English
ES	Elétrons Secundários
FE Pa	Norma Procedimento Interno
FRX	Fluorescência de Raios X
GMat	Grupo de Pesquisa de Reciclagem de Materiais
IBN	Institut Belge de Normalisation
ISO	International Organization for Standardization
LCVMat	Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais
LMC	Laboratório de Materiais de Construção Civil
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MR	Mortars and renderings
NBN	Bureau for Standardisation
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
NM	Norma Mercosul
PCD	Permeability of concrete as a criterion of its durability
PPGEC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Ra	Resistência de aderência à tração
R_a	Rugosidade média
RILEM	Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux, Systemes de Construction et Ouvrages
UNISINOS	Universidade do Vale do Rio dos Sinos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 27
1.1 Justificativa 28
1.2 Objetivos 29
1.2.1 Objetivo Geral 30
1.2.2 Objetivos Específicos 30
1.3 Estrutura da Pesquisa 30
1.4 Delimitações do Trabalho 31
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 33
2.1 Mecanismo de Aderência na Interface Argamassa/Substrato 33
2.2 Características do Substrato 36
2.2.1 Porosidade 37
2.2.2 Rugosidade 43
2.3 Argamassas de Revestimento com Fíler 48
2.4 Determinação da Resistência de Aderência à Tração 53
3 MATERIAIS E MÉTODOS 59
3.1 Planejamento do Programa Experimental 59
3.1.2 Fatores de Controle 60
3.1.1 Fatores Fixos 61
3.1.3 Variável de Resposta 61
3.1.4 Análise Estatística 62
3.2 Materiais 62
3.2.1 Substratos Cerâmicos 62
3.2.2 Aglomerante 64
3.2.3 Agregado Miúdo 64
3.2.4 Fíler 65
3.2.5 Água 67
3.3 Caracterização dos Blocos Cerâmicos 67
3.3.1 Massa Seca e Índice de Absorção de Água 67
3.3.2 Absorção de Água por Capilaridade 67
3.3.3 Rugosidade por Perfilometria 69
3.4 Produção das Argamassas e Preparo dos Revestimentos 71
3.4.1 Aplicação das Argamassas de Revestimento nos Substratos Cerâmicos 72

3.5 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco 75
3.5.1 Índice de Consistência 76
3.5.2 Squeeze-flow.....76
3.5.3 Retenção de Água.....76
3.5.4 Densidade de Massa.....76
3.5.5 Teor de Ar Incorporado 77
3.6 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido.....77
3.6.1 Absorção de Água por Capilaridade.....77
3.6.2 Absorção de Água Total – Índice de Vazios e Massa Específica.....77
3.6.3 Resistência à Tração na Flexão 78
3.6.4 Resistência à Compressão.....78
3.6.5 Determinação da Variação Dimensional e de Massa.....78
3.6.6 Densidade de Massa.....78
3.6.7 Módulo de Elasticidade Dinâmico através da Propagação de Onda Ultra-sônica.79
3.7 Resistência de aderência à tração.....79
4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....81
4.1 Caracterização dos Blocos Cerâmicos 81
4.1.1 Índice de Absorção de Água 81
4.1.2 Absorção de Água por Capilaridade.....83
4.1.3 Rugosidade por Perfilometria 84
4.2 Caracterização das Argamassas de Revestimento.....86
4.2.1 Estado Fresco 87
4.2.2 Estado Endurecido 89
4.3 Resistência de aderência à tração.....90
4.3.1.1 Influência das Características do Substrato 98
4.3.1.2 Influência da Adição de Fíler.....105
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....109
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros 110
REFERÊNCIAS.....113
APÊNDICE A – EFICIÊNCIA DE HIDROFUGANTES APLICADOS EM BLOCOS CERÂMICOS COM DIFERENTES TEMPERATURAS DE QUEIMA 121
APÊNDICE B – PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO ESTADO FRESCO 123

APÊNDICE C – PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO ESTADO ENDURECIDO 125
APÊNDICE D – RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS DIFERENTES DOS CONJUNTOS.....133
APÊNDICE E – RESULTADOS DO TEOR DE UMIDADE MÉDIO DAS ARGAMASSAS NO MOMENTO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO 145

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a argamassa de revestimento é utilizada na maioria das construções, tanto para ambientes internos como externos, porém, ainda existe fraco controle tecnológico e falta de conhecimento especializado na produção de argamassas, o que ocasiona frequentemente o surgimento de manifestações patológicas que comprometem a função do sistema de revestimento, como proteção, impermeabilização e aparência estética da construção. (STOLZ; MASUERO, 2015).

Dentre as manifestações patológicas que surgem nos sistemas de revestimento destacam-se a fissuração, pulverulência, eflorescência, infiltração, desagregação e o descolamento. (CINCOTTO, 1988).

A perda ou a falta de aderência de argamassas ao substrato sobre a qual são aplicadas está entre as mais preocupantes manifestações patológicas das edificações e, a fim de mitigar o surgimento destas, muitos pesquisadores têm dado atenção na aderência de argamassas, sendo que a partir da década de 30 do século XX iniciaram-se as primeiras pesquisas a respeito de aderência em argamassas, podendo destacar os trabalhos de Voss (1933), que verificou a influência da permeabilidade das paredes de alvenaria de blocos através da consideração do fluxo de água para melhor interação entre substrato e argamassa; Palmer e Parsons (1934), que estudaram as propriedades de substratos e cinquenta composições de argamassas e relação destes com a aderência; e Staley (1940), que realizou análise petrográfica para avaliar a interface substrato/argamassa.

A partir da década de 70 os estudos relacionados com análise da interface do sistema de revestimento começaram a ser aprofundados através de técnicas mais refinadas, podendo destacar os trabalhos iniciais de Grandet (1973), Chase (1984), Lawrence e Cao (1987, 1988), Carasek (1996), Lange, Deford e Almed (1996) e Lange, Deford e Werner (1999). Ainda assim, existe divergência entre as explicações para as características microestruturais da interface e o processo de aderência.

Nos últimos anos o Brasil passou a focar nos conceitos de durabilidade e sustentabilidade, com o intuito de minimizar as manifestações patológicas, estabelecer um desempenho mínimo nas edificações assim como reduzir a quantidade de resíduos. Sendo assim, a NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2013c) foi criada e segmentada em seis partes,

onde a Parte 4 cita os requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas, estabelecendo um padrão mínimo de desempenho para estes. A norma indica que a ocorrência de descolamentos é considerada tolerável, desde que não impliquem descontinuidades ou risco de projeção de material, não podendo ultrapassar uma área individual de 0,15 m² ou ultrapassar 15 % da área total do elemento em análise.

Já para a determinação da resistência de aderência à tração em sistemas de revestimentos, existe a NBR 13528 (ABNT, 2010a), que mesmo passando por atualizações desde sua criação, ainda sofre inúmeras críticas em função da grande variabilidade dos resultados. (COSTA, 2007).

1.1 Justificativa

A escolha do tema que conduz este trabalho se fundamentou em pesquisa bibliográfica no qual foi verificada a inexistência de estudos realizados de modo a explicar de forma satisfatória e completa o fenômeno da aderência de argamassas de cimento aplicadas em substratos cerâmicos.

Muitos dos trabalhos publicados em nível nacional têm o foco no estudo isolado de alguns fatores relacionados ao mecanismo de aderência, sendo que dentre os relacionados com a interface argamassa/substrato pode-se citar: rugosidade do substrato (PRETTO, 2007; STOLZ et al., 2016); porosidade do substrato (HONÓRIO; CARASEK, 2009; PAGNUSSAT; MASUERO, 2011), temperatura de queima do substrato cerâmico (PAGNUSSAT, 2013), reologia das argamassas (FRANÇA; CARDOSO; PILEGGI, 2011), influência da forma de aplicação da argamassa (FERNANDES et al., 2009), teor de fíler da argamassa (ARNOLD; KAZMIERCZAK, 2009), dentre outros. Em nível internacional, cabe ressaltar que há poucas publicações atuais relacionadas a aderência de argamassas de revestimento.

Os fatores envolvidos na aderência entre o substrato e as partículas que entram em contato com ele foram estudados ao longo do tempo por vários pesquisadores em nível nacional e internacional, mas ainda não há consenso sobre uma única teoria que esclareça os mecanismos físicos e químicos envolvidos. Dentre as teorias já propostas, pode-se citar a teoria do intertravamento mecânico,

das ligações químicas, da adsorção, da difusão e a teoria da eletrostática. (TYKHONIUK et al., 2007; PHAN, 2012; COSTA, 2014).

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do Grupo de Pesquisa em Materiais e Reciclagem (GMat) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), onde vem sendo estudado nos últimos anos o comportamento de argamassa de revestimento. No Quadro 1 estão listadas as dissertações desenvolvidas pelo GMat até o momento dentro desta temática.

Quadro 1 – Dissertações realizadas com enfoque em argamassas de revestimento

Trabalho	Área de estudo
Arnold (2011)	Influência da forma dos grãos nas propriedades das argamassas
Heineck (2012)	Desempenho de argamassas de revestimento com incorporação da fração miúda da britagem de concreto
Rosa (2013)	Análise do efeito do teor de microfinos nas propriedades das argamassas de revestimento com utilização de areia de britagem basáltica
Erhart (2014)	Influência do chapisco com CCA na aderência de argamassas em substratos
Sentena (2015)	Avaliação do envelhecimento de revestimentos de argamassas submetidos a ciclos térmicos
Schäfer (2015)	Análise da influência de elevadas temperaturas em revestimento de argamassa

Fonte: Elaborado pela autora.

Exposto o problema e com o intuito de dar continuidade e aprimorar os trabalhos produzidos pelo grupo de pesquisa, este trabalho tem como foco o estudo de fatores relacionados ao substrato e a argamassa que influenciam na resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento.

1.2 Objetivos

Os objetivos da pesquisa foram divididos em objetivo geral e específicos, e estão apresentados a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar fatores relacionados ao substrato cerâmico e à argamassa que influenciam na resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

a) avaliar a influência da absorção de água por capilaridade e absorção de água total dos substratos cerâmicos na resistência de aderência à tração;
b) analisar a influência da rugosidade média dos substratos na aderência das argamassas de revestimento;
c) analisar a influência da aplicação de hidrofugante nos substratos cerâmicos na aderência das argamassas de revestimento;
d) verificar a influência do aumento da adição de fíler na argamassa sobre a resistência de aderência à tração do sistema de revestimento.

1.3 Estrutura da Pesquisa

A pesquisa está disposta em cinco capítulos, sendo o primeiro a introdução do trabalho, onde descrevem-se as considerações iniciais e relevância do tema, a justificativa bem como os objetivos.

O segundo capítulo aborda a revisão bibliográfica, onde foi realizado o embasamento teórico, dividida em quatro temas: mecanismos de aderência na interface argamassa/substrato, influência das características do substrato na aderência de argamassas de revestimento, influência da utilização de fíler em argamassas de revestimento na aderência de sistemas de revestimento, e, por último, a determinação da resistência de aderência à tração.

No terceiro capítulo é apresentado o programa experimental, com os fatores fixos, fatores de controle, variável de resposta, os materiais, métodos e ensaios adotados para cumprir os objetivos expostos.

O capítulo quatro apresenta os resultados obtidos na pesquisa, bem como a análise e discussão dos resultados.

Ao fim, o quinto capítulo é constituído nas considerações finais da pesquisa, sustentado através do programa experimental apresentado e nos resultados encontrados, associando-os com os objetivos expostos e sugestões para trabalhos futuros.

1.4 Delimitações do Trabalho

Com os objetivos da pesquisa definidos, foram traçados os contornos que a delimitam em virtude das variáveis existentes que influenciam os resultados, sendo eles: utilização de substratos cerâmicos obtidos a partir de três temperaturas de queima; uso de apenas um tipo de cimento – o CP II-Z-32; adição de um tipo de fíler – o pó de quartzo; um teor de adição do fíler em relação ao agregado miúdo – 5%; ajuste das argamassas através do ensaio de Squeeze-flow; aplicação da argamassa no substrato sem execução de chapisco; realização de argamassas de revestimento sem a utilização de cal, a fim de evitar que sua finura influencie quando na adição de pó de quartzo na argamassa de revestimento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo está apresentada uma abordagem acerca dos conceitos relativos à interação de substratos e argamassas de revestimentos, características do substrato, utilização de fíler[1] em argamassas de revestimento assim como a apresentação do método de determinação da resistência de aderência, procurando correlacionar os conceitos científicos.

2.1 Mecanismo de Aderência na Interface Argamassa/Substrato

De acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010a), aderência é uma propriedade do sistema de revestimento de suportar às tensões que atuam na área de interação com o substrato. Esta propriedade não está relacionada apenas com revestimentos, e engloba princípios e definições relevantes sobre filmes, cerâmicas, laminados, lubrificantes, compósitos, células biológicas, dentre outros, impossibilitando que se tenha um consenso sobre a explicação para tal. (COSTA, 2014).

Os macrofatores que influenciam o processo de aderência entre argamassas e substratos são: a argamassa – sua reologia, adesão inicial, trabalhabilidade, retenção de água, características de fixação, entre outros; o substrato – suas características de absorção de água, porosidade e rugosidade da superfície; a execução – com o preparo ou não do substrato, a forma de aplicação e as condições de cura; além das condições climáticas – através do vento, umidade e temperatura. (CARASEK, 2010; THAMBOO; DHANASEKAR, 2015).

Dentre as teorias existentes, Grandet (1973), Detriché e Maso (1986), Carasek (1996) e Carvalho Jr. (2005) foram alguns dos pesquisadores que estudaram a **teoria do intertravamento mecânico**. Grandet (1973) iniciou a análise em substratos porosos, estudando a aderência entre a pasta e blocos cerâmicos. Em seu estudo constatou a existência de cristais de etringita nos poros do substrato e concluiu que para que haja aderência é necessária a penetração da matriz cimentícia nos poros do substrato. Segundo Detriché e Maso (1986), a movimentação de água da argamassa para o substrato através da sucção, além da movimentação de água para o meio ambiente através da evaporação, são fatores que afetam a interface desses dois sistemas de poros, a argamassa e o substrato.

[1] Neste trabalho designou-se como fíler agregados ou aglomerantes passantes na peneira 0,075 mm.

Carasek (1996) constatou a existência de aderência mecânica do sistema de revestimento, através de estudos em escala microestrutural com utilização de microscópio eletrônico de varredura (MEV) e por espectroscopia por dispersão de energia de raios X (EDS). A autora detectou que o produto proveniente da pasta da argamassa que penetra no substrato cerâmico é constituído de cálcio, enxofre e, em alguns casos, de ferro e alumínio, observados a profundidades entre 100 e 1600 µm. Segundo ela, através da sucção exercida pelos capilares do substrato os íons da matriz cimentícia são conduzidos para o interior dos poros do substrato, onde precipitam na forma de hidratos ocupando os vazios da superfície.

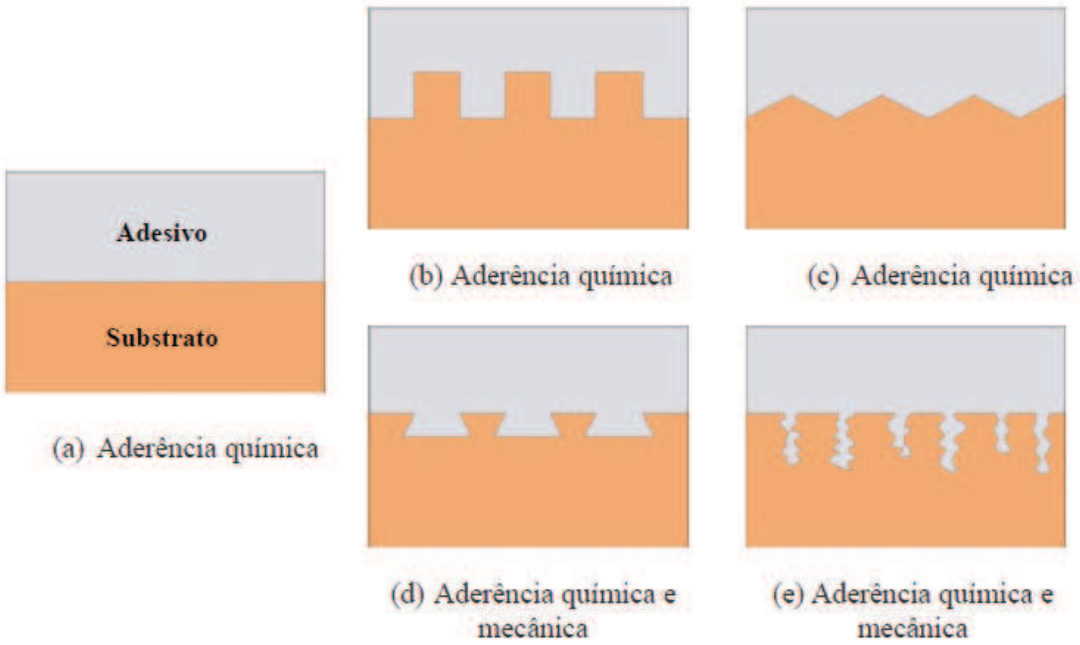
Carvalho Jr. (2005) analisou a interface argamassa/substrato através de difração de raios X (DRX), microscopia eletrônica de varredura com microanálise de espectroscopia por dispersão de energia de raios X e espectrometria de fluorescência de raios X (FRX) e os resultados encontrados pelo autor indicaram fases derivadas da pasta, – como o C-S-H, etringita e portlandita –, penetrando os microporos do substrato demonstrando importância na resistência de aderência à tração deste trabalho, onde os melhores resultados foram associados a maior concentração relativa de cálcio nos primeiros 500 µm do contato na interface argamassa/substrato.

No entanto, estas forças físicas de ligação, por mais que estejam quase sempre presentes, são geralmente muito fracas, enquanto que a ligação química é forte com contribuição significativa para a aderência, porém de difícil produção na interface de diferentes materiais. Por esse motivo, vários autores justificam a aderência utilizando a **teoria da adesão por ligação química**. A aderência decorrente de ligação química é atribuída à formação de ligações covalentes, iônicas ou de hidrogênio na interface, onde dois materiais formam um composto na junção por troca de elétrons (ligação iônica), compartilhamento de elétrons (ligação covalente) ou os átomos de hidrogênio são atraídos para um átomo de nitrogênio, oxigênio ou flúor (ligação de hidrogênio). (MARSHALL et al., 2010; PHAN, 2012; PULKER; PERRY; BERGER, 1981).

Costa (2014) realizou representação esquemática das diferenças de mecanismos de aderência químico e mecânico na interface substrato/matriz cimentícia, onde, na Figura 1 (a) está representada uma superfície lisa com aderência essencialmente química, não tendo influência da aderência mecânica uma vez que não existe qualquer tipo de penetração da matriz cimentícia no substrato. As

Figuras 1 (b) e (c) também apresentam a aderência química, com a diferença de que as superfícies dos substratos são irregulares, mas com esforços aplicados normais ao plano, sendo que caso não houvesse a aderência química, apenas haveria o encaixe entre adesivo e substrato. Neste caso, o aumento da aderência é justificado pelo aumento da área de contato na interface. Por fim, as aderências química e mecânica estão demonstradas nas Figuras 1 (d) e (e), geradas através das irregularidades do substrato que ocasionam a ancoragem do adesivo.

Figura 1 – Representação esquemática dos mecanismos de aderência da interface substrato/argamassa



Fonte: Costa (2014, p. 32).

Pulker, Perry e Berger (1981) e Phan (2012) explicam de forma breve as demais teorias citadas anteriormente. A **teoria da adsorção** tem caráter físico-químico, sendo que a aderência resulta do contato molecular entre dois materiais e estes são mantidos unidos em razão das forças de Van der Waals. Já a **teoria da difusão** requer que tanto o adesivo como o substrato sejam polímeros, móveis e que possam ser solúveis um no outro, sendo que a aderência por difusão pode ser afetada pelo tempo de contato, temperatura, pesos moleculares dos polímeros e sua forma física. A camada de difusão é caracterizada por uma alteração constante na rede e pela composição na área de transição adesivo/substrato, apresentando características vantajosas, principalmente quando se tratam de materiais muito

diferentes, e também são capazes de reduzir as tensões mecânicas resultantes da expansão térmica. Por fim, a **teoria da eletrostática** cita a formação de uma diferença na carga elétrica na interface entre dois materiais, nos quais os elétrons se transferem de um para outro, gerando uma força de atração entre estes materiais, que contribuem para a resistência de aderência do adesivo e do substrato.

Por mais que cada um dos fenômenos citados tenha interpretações distintas, é importante salientar que os mesmos se complementam, sendo complexa a definição de quais sejam prioritários dentre aqueles defendidos pelos diversos pesquisadores.

2.2 Características do Substrato

A NBR 13529 (ABNT, 2013a) define como base ou substrato, a superfície – parede ou teto – constituída de material inorgânico, não metálico, sobre a qual o revestimento é executado.

A escolha do substrato se demonstra fundamental para que se tenha uma boa aderência entre este e a argamassa de revestimento, sendo que diversos pesquisadores já chamaram a atenção para a sua importância. Scartezini e Carasek (2003) analisaram os fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento com argamassa, onde utilizaram dois tipos de blocos: de cerâmica vermelha e de concreto.

Foram avaliadas técnicas de preparo do substrato – sem preparo, umedecido, chapiscado e em solução de cal, e a contribuição da cura úmida nos blocos. Como resultado foi constatado que o tipo de substrato influencia na resistência de aderência, independentemente de qualquer outra variável, sendo que os substratos de blocos de concreto apresentaram valores de aderência significativamente superiores aos dos substratos cerâmicos, sendo justificado pelo fato dos substratos de blocos de concreto terem uma maior rugosidade superficial e textura diferenciada, favorecendo o intertravamento da argamassa. (SCARTEZINI; CARASEK, 2003).

Kazmierczak, Brezezinski e Collato (2007) realizaram investigação sobre a influência de diferentes substratos – bloco cerâmico, de concreto e tijolo maciço – com e sem utilização de chapisco através de ensaios de resistência de aderência realizados aos 7 e aos 28 dias. Foi constatado que a idade e o tipo de substrato são

fatores que influenciam na aderência, sendo que os três tipos de substratos expressaram propriedades físicas (resistência à compressão, sucção, absorção de água, e distribuição de poros) distintas, e a utilização de chapisco aumentou a resistência de aderência em todos os substratos.

Pinheiro e Holanda (2010) avaliaram o efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha com as temperaturas de 850°C, 950°C e 1050°C. Através de micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura das peças de cerâmica vermelha foi verificado que a temperatura de 850°C se apresentou muito rugosa e estrutura porosa, com morfologia irregular típica do estágio inicial de sinterização. A temperatura de 950°C ainda apresenta um grande volume de poros abertos não acontecendo grandes alterações da estrutura da cerâmica vermelha. E, por fim, na temperatura de 1050°C, a peça cerâmica mostra uma superfície menos porosa e com rugosidade mais suave, sendo que o volume de poros abertos diminuiu significativamente.

Já Pagnussat (2013) avaliou o efeito da temperatura de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa. No estudo foram utilizados blocos com temperaturas de queima de 700°C, 800°C, 900°C e 1000°C, com diferenciação da sua textura superficial em lisos e estriados. Como resultados de resistência de aderência a tração foi verificada um aumento gradual nestes de acordo com o aumento da temperatura de queima dos blocos cerâmicos, além disso, os conjuntos nos quais foram utilizados os blocos estriados para a aplicação das argamassas obtiveram aumento na resistência de aderência de cerca de 32,3% quando comparados com os conjuntos executados com os blocos lisos.

2.2.1 Porosidade

A porosidade é uma das principais características do substrato, sendo que o tamanho e volume dos poros influenciam diretamente na resistência mecânica deste, determinando a capacidade de retenção de determinado material fluido e a facilidade de sua circulação dentro do substrato. A porosidade e a distribuição de tamanho de poros são consideradas parâmetros chave para a durabilidade de materiais, principalmente àqueles submetidos a vários tipos de intemperismo e fenômenos em ambientes agressivos, como chuva ácida relacionadas a ataque e

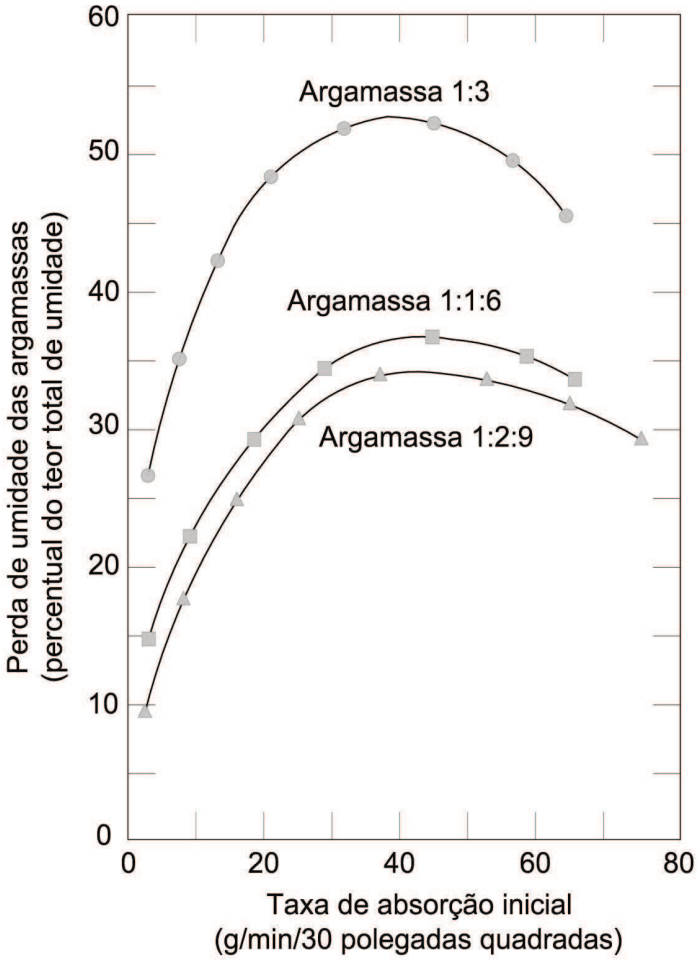
dissolução, cristalização de sal e ciclagens térmicas. (MALLIDI, 1996; LU; LU; XIAO, 1999; CULTRONE et al., 2004).

A água entra nos poros capilares quando a atração pela superfície dos poros é mais forte do que a atração água-água. Assim, a eficiência da força de sucção depende da natureza das superfícies e dos diâmetros e dos poros. (AL-NADDAF, 2018). De acordo com a teoria dos poros ativos, a pasta flui dos poros com maior diâmetro, como no caso da argamassa fresca, aos poros com menor diâmetro, como no caso do substrato. (CARASEK, 2010).

Quando ocorre a sucção do substrato, a pasta passa a perder água para este e também para o ambiente, através da evaporação, podendo estes serem citados como causas da retração em argamassa de revestimento. (KOPSCHITZ et al., 1997).

Davison (1961) mostra a perda de água das argamassas com três traços diferentes aplicadas em diferentes substratos cerâmicos em um período de 4 minutos através da Figura 2. A maior perda de água da argamassa ocorre no traço que não possui cal (1:3), sendo que ao inserir cal nas argamassas a perda passa a ser gradativamente menor. Outro fato verificado é que as argamassas apresentaram maior perda de água quando aplicadas em substratos cerâmicos com nível intermediário de sucção inicial de água, em comparação à aplicação em substratos com alto nível de sucção. A explicação para isso está na verificação da presença de uma camada de argamassa endurecida nos blocos com maior taxa de absorção de água, que tendia a se formar na interface com o substrato cerâmico logo após o contato entre os dois. Esta camada atua como uma barreira que retarda a taxa de perda de umidade.

Figura 2 – Perda de água de argamassas aplicadas em substratos cerâmicos com diferentes níveis de sucção de água



Fonte: Traduzido de Davison (1961).

Derluyn, Janssen e Carmeliet (2011) analisaram a influência do transporte capilar através da interface argamassa/alvenaria avaliando perfis de umidade através de projeção de raios-X combinados com modelagem numérica. Foram investigadas amostras de argamassas com três diferentes tipos de interação: em molde – referência, em tijolos úmidos e tijolos secos em estufa. Para a argamassa com interação em substratos úmidos, os resultados de extração de água não foram significativos, já a argamassa com interação em substratos secos teve uma perda considerável de água para o substrato, no entanto, os autores constataram que, para ambos os casos, o contato hidráulico é imperfeito. Derluyn, Janssen e Carmeliet (2011) ainda assim, concluíram que as condições de cura devem ser consideradas em avaliações higrotermais de construções, sendo que estas afetam a porosidade das argamassas, que podem influenciar nas propriedades mecânicas e

na interação desta com o substrato. No entanto, não foi estabelecida uma relação direta dos valores encontrados na pesquisa com a aderência em sistemas de revestimento.

Cultrone et al. (2004) estudaram sobre a influência da mineralogia e temperatura de queima na porosidade de substratos cerâmicos. Para tal, foram escolhidos dois tipos de argila crua com uma composição representativa daquela usada na indústria de blocos cerâmicos, sendo que uma continha quantidade notável de carbonatos, com tamanho de grão inferior a 1 μm, e o outro predominantemente quartzilítico e desprovido de carbonatos. Foi verificado que a presença ou ausência de carbonatos influencia fortemente o desenvolvimento da porosidade e a textura do substrato juntamente com as propriedades físico-químicas da massa argilosa. Para a temperatura de queima a 700°C não foram verificadas diferenças estruturais ou de porosidade relevantes entre substrato com e sem carbonato. Já nas demais temperaturas foi possível observar que blocos com carbonatos apresentaram limite de fundição a 900-1000°C, maior quantidade de microporos (< 1 μm) e fissuras e menor resistência ao intemperismo com sal e ciclos de congelamento e descongelamento. Os blocos cerâmicos sem a presença de carbonatos apresentaram aumento de macroporos (> 1 μm), sendo que a porosidade diminuiu com o aumento de temperatura, reduziu a interconecção dos poros, e houve aumento considerável da durabilidade devido a quantidade limitada de microporos nas cerâmicas queimadas sob a maior temperatura.

Nos trabalhos de Costa, Kurokawa e John (2013) e Costa e John (2013) é apresentada uma visão diversa da comumente utilizada pela maioria das pesquisas sobre o tema. No primeiro trabalho foi realizada uma modelagem simplificada para estimativa do potencial de penetração de partículas em substratos porosos e no segundo é explicado o efeito da absorção do substrato na aderência de argamassas de revestimento. Costa, Kurokawa e John (2013) elaboraram um modelo simplificado de forma a aferir o potencial de penetração das partículas existente em matrizes constituídas por cimento, cal, fíler e argamassa nos poros de substratos com distribuição de poros similares aos encontrados no mercado nacional, tendo como hipótese que a(s) partícula(s) que tenha(m) área de projeção no plano menor ou igual à área de projeção do poro do substrato poderá(ão) penetrá-lo. No estudo, não foram considerados efeitos de aglomeração, estimando que todas as partículas estão perfeitamente dispersas e sem considerar a variação volumétrica das

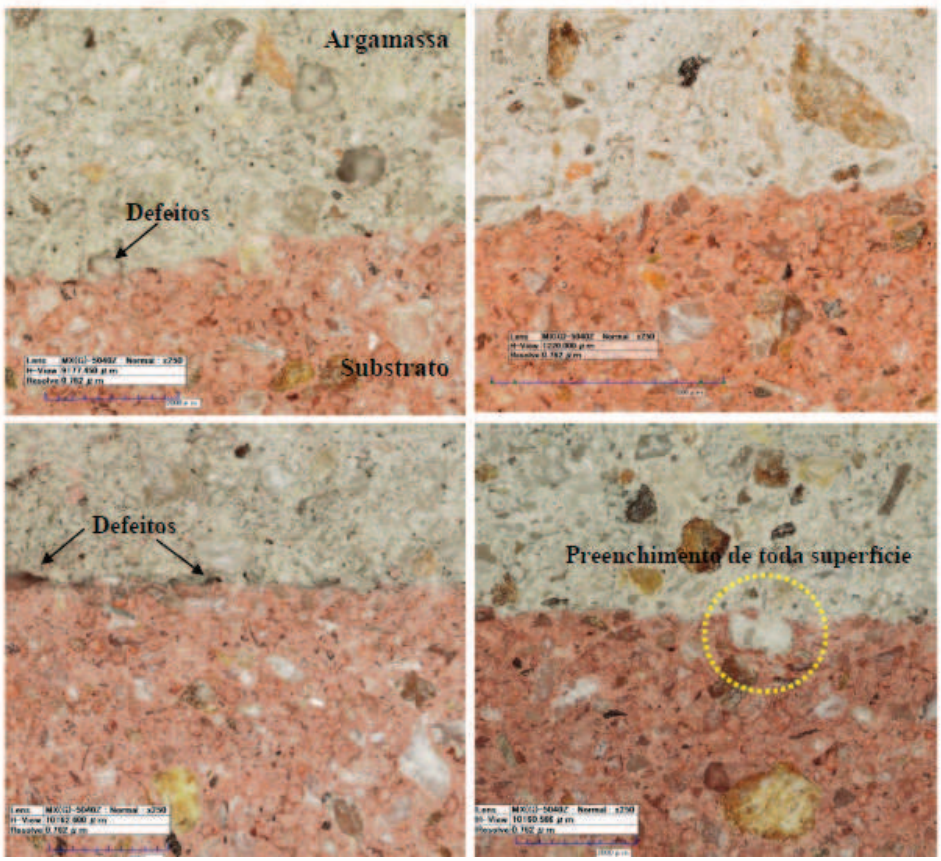
partículas em razão do período de contato com a água. Foi observado baixo potencial de penetração, de apenas 1% do volume de partículas totais existentes na matriz. Ainda que matrizes com partículas inferiores apresentaram maior potencial de penetração, os autores concluíram que não é possível referir apenas a ancoragem mecânica pela penetração de partículas nos poros a capacidade de melhoria na aderência da interface substrato/matriz.

A absorção capilar do substrato está relacionada com o tamanho dos poros e o ângulo e contato formado entre a curvatura na superfície do líquido em contato com a parede do poro deste substrato. Esta absorção de água acontece se o ângulo for inferior a 90°, eliminando a interface líquido/ar e favorecendo a inserção do líquido. (QUÉRÉ, 2008; KLEIN et al., 2012). A ação de um hidrofugante aumenta este ângulo de contato, sendo que quanto maior o ângulo maior a repelência de água em razão do aumento da interface sólido/ar.

Sendo assim, Costa e John (2013) avaliaram a influência da absorção de um substrato cimentício, com rugosidade e porosidade monitoradas e empregaram métodos distintos de tratamento superficial – referência, utilização de hidrofugante e aplicação de hidrofugante com processo de lixamento posterior – e verificaram a resistência de aderência em sistemas de revestimento. Os resultados encontrados pelos pesquisadores não demonstraram diferenças significativas entre os valores de resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento com os resultados de absorção de água dos substratos, contrariando diversos autores. A explicação dada para o aumento de contato entre as partículas da argamassa e o substrato hidrofugado é que o hidrofugante repele a água que se depositaria na interface e no lugar ocupam as partículas de fíler, então, quando o processo de hidratação do cimento é iniciado, ocorre a aderência química através do contato a nível molecular dos produtos de hidratação, conforme explicado do item 2.1.

A Figura 3 mostra imagens realizadas através de microscopia óptica do estudo mais aprofundado do artigo acima, sendo parte da tese de Costa (2014), representando a interface da argamassa-substrato sem tratamento (coluna à esquerda), que apresentou falhas e vazios provenientes da falta de contato na interface; e com a aplicação do hidrofugante (coluna à direita), apresentando melhor interação.

Figura 3 – Microscopia óptica com ampliação de 250 vezes e resolução de 0,76 µm da interface substrato/argamassa aos 28 dias



Fonte: Costa (2014, p. 109).

Pagnussat e Masuero (2011) realizaram avaliação da aderência de revestimento de argamassa aplicados em substratos cerâmicos com diferentes condições superficiais queimados nas temperaturas de 700°C, 800°C, 900°C e 1000°C. A delimitação da absorção de água dos blocos foi realizada com parafina através de faixas alternadas, com o intuito de impedir a absorção de água pelos poros em 50% da área potencial de contato, supostamente impedindo a penetração de pasta e formação de produtos de hidratação no interior dos poros dos substratos cerâmicos. O selamento parcial de poros da superfície de contato reduziu consideravelmente os valores de resistência de aderência à tração, ainda que o contato da argamassa na região tenha sido pleno, demonstrando a importância da absorção de água para o mecanismo de aderência de sistemas de revestimento.

2.2.2 Rugosidade

As definições de rugosidade expressas por autores são muito genéricas e acabam não explicando exatamente seu conceito. A própria NBR ISO 4287 (ABNT, 2002) cita que, historicamente, o perfil de rugosidade e seus parâmetros são as únicas propriedades da rugosidade que se encontram consolidadas. Além disso, há dificuldade na medição de rugosidade de determinados materiais, não havendo consenso exato entre os pesquisadores.

Existem diversas normas e trabalhos sobre a determinação da rugosidade, mas quase todas voltadas a superfícies de materiais simples, como metais e plásticos, sendo que usualmente esta propriedade é relacionada com o atrito entre duas superfícies. A NBR ISO 4287 (ABNT, 2002) especifica como determinar a rugosidade de produtos, com seus termos, definições e parâmetros, e a NBR ISO 4288 (ABNT, 2008b) expõe o método do perfil, com regras e procedimentos para avaliação de rugosidade, com critérios para análise de dados bidimensionais.

A característica principal da rugosidade R_a de superfícies é estabelecida através da NBR 8404 (ABNT, 1984), onde são indicadas através de números a classe de rugosidade correspondente, conforme é possível verificar através da Tabela 1.

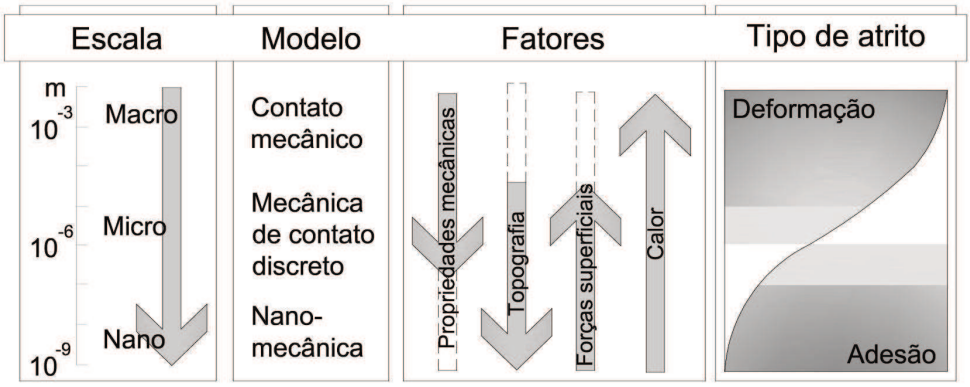
Tabela 1 – Características da rugosidade R_a

Classe de rugosidade	Desvio médio aritmético (Ra) µm
N 12	50
N 11	25
N 10	12,5
N 9	6,3
N 8	3,2
N 7	1,6
N 6	0,8
N 5	0,4
N 4	0,2
N 3	0,1
N 2	0,05
N 1	0,025

Fonte: ABNT (1984, p. 2).

A rugosidade é considerada complexa pois ela engloba níveis de escala, desde a macro até a nano, e estas demonstram os processos distintos pelos quais as superfícies dos materiais passam, além do que, estas escalas podem se sobrepor na análise de um mesmo material. (ZAHOUANI, et al., 2001; MEZGHANI; ZAHOUANI, 2004). Myshkin, Petrokovets e Chizhik (1998) afirmaram que um modelo de superfície real deve considerar todos esses níveis, denominados por eles de rugosidade, microrrugosidade e submicrorrugosidade. Os fatores levados em consideração para a transição de cada um dos níveis e sua correlação com o modelo e o tipo de atrito estão demonstrados através da Figura 4. Os mesmos pesquisadores explicam sobre os fatores que afetam o atrito, sendo que os componentes mecânicos estão relacionados à deformação enquanto que os moleculares vinculados com a adesão.

Figura 4 – Combinação dos fatores que afetam o atrito



Fonte: Traduzida de Myshkin, Petrokovets e Chizhik (1998).

Em nível macro, podem ser exemplificados os trabalhos de Pretto (2007) e Silva et al. (2011) que realizaram diversos tratamentos superficiais e moldes de textura rugosa em substratos, explicando que estes geram maior superfície de contato e aderência entre os componentes. Stolz et al. (2016) realizaram análise da influência da textura do substrato e das características reológicas de argamassas na resistência de aderência à tração e ao cisalhamento. Os substratos em estudo eram todos de concreto e foram utilizadas três diferentes texturas, e, após a aplicação das argamassas, foi realizada análise visual da interface através de microscópio estereoscópico onde foram identificados vazios e que o tamanho destes aumentava nos pontos com alteração no ângulo de contato, devido à presença de

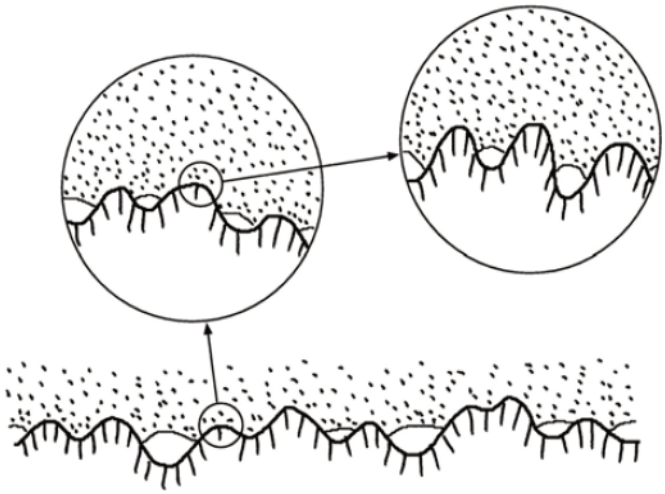
irregularidades de superfície. Os autores explicam que um aumento na área potencial de contato de um substrato pode não estar diretamente relacionado com aumento da resistência de aderência de uma argamassa de revestimento, tendo em vista que a área de contato real pode ser afetada pela reologia desta argamassa.

Myshkin et al. (2003) relatam que a abordagem geral para a caracterização da rugosidade da superfície baseia-se num determinado conjunto de parâmetros estatísticos derivados de um perfil de superfície ou de um mapa de superfície 3D, porém não existe acordo formal sobre como caracterizar superfícies nesse âmbito. O principal problema na avaliação 3D refere-se à caracterização da organização espacial da superfície.

Novas exigências para técnicas de medição de rugosidade e novos meios se fazem necessários para verificar tal propriedade no material, sendo que a escala dimensional em tecnologias e pesquisa vem se direcionando para a escala nanométrica. Os autores verificaram que além do conceito de rugosidade multinível ser útil ao considerar as causas de deformações de certos tipos de topografia, a divisão condicional de escalas de rugosidade também é tendo em vista sua relação com a área de contato, sendo que a análise desta área em dois níveis necessita de uma avaliação da ordem espacial da superfície.

Yang e Person (2008) explicam que é preciso cuidado quanto à rugosidade em multiescala do substrato, em razão de que, quando a área de contato é estudada com baixa ampliação, aparenta ocorrer contato completo da área na interface, porém, quando se aumenta a ampliação, observa-se que, na realidade, ocorre apenas o contato parcial desta, conforme demonstrado na Figura 5, onde as falhas de aderências apenas se evidenciam ao se utilizar uma escala menor.

Figura 5 – Interface da área de contato de substrato com rugosidade em multiescala



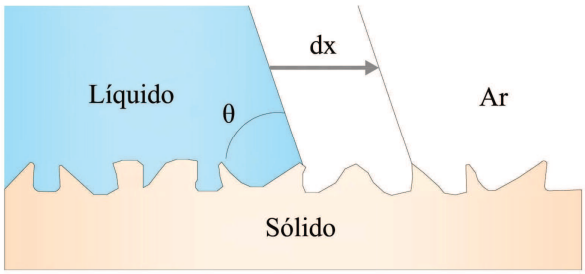
Fonte: Yang e Persson (2008).

Por mais que muitos pesquisadores afirmem que a rugosidade em nível macro teoricamente aumenta a aderência através do intertravamento mecânico, a rugosidade em nível micro pode influenciar este parâmetro, sendo que, conforme Costa, Cardoso e John (2016), na prática, nenhuma superfície de substrato é completamente lisa, tendo em vista que a rugosidade é dependente da escala de observação, que varia o seu nível de acordo com o material em estudo.

A microrrugosidade pode influenciar nas propriedades termodinâmicas da superfície em razão da alteração do ângulo de contato, sendo que um aumento da rugosidade geralmente provoca uma melhor dispersão do líquido na superfície sólida, sendo este efeito avaliado a partir do coeficiente de Wenzel. (COURARD; NELIS, 2003). Esta rugosidade afeta o ângulo de contato, sendo que, de acordo com o modelo de Wenzel, o fator rugosidade é a relação entre a área de superfície real e a área de superfície aparente de um substrato rugoso. Pode-se obter o ângulo de contato aparente (θ) considerando um pequeno deslocamento aparente da linha de contato e observando a variação correspondente na energia superficial, assumindo que o líquido segue a rugosidade da superfície sólida, conforme é demonstrado na Figura 6. Este modelo pressupõe que a rugosidade aumenta a molhabilidade, porém é preciso cautela em sua aplicação tendo em vista que não existe limitação para o efeito do fator de rugosidade, podendo ser arbitrariamente grande, indicando uma molhagem completa ou uma secagem completa. O modelo de Wenzel se mostra falho se o deslocamento do líquido não for compatível com a rugosidade do

substrato, sendo que assim ocorre o aprisionamento do ar na interface, prejudicando na aderência. (QUÉRÉ, 2008).

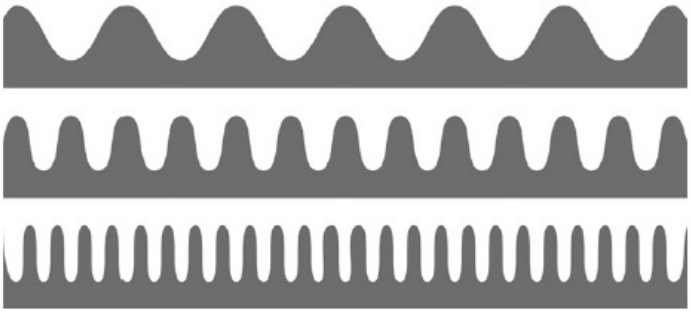
Figura 6 – Modelo de Wenzel



Fonte: Traduzida de Quéré (2008).

Em geral, a rugosidade é considerada apenas a amplitude das irregularidades, enquanto que a avaliação de determinado material é muito mais complexa. Santos e Júlio (2012) explicam isto, esclarecendo que a rugosidade média não fornece nenhum tipo de informação sobre a variabilidade local do perfil de superfície, sendo assim, perfis muito diferentes podem apresentar a mesma rugosidade média, conforme demonstrado na Figura 7. Como forma de solucionar esta limitação, outros parâmetros de rugosidade foram propostos, levando em consideração a localização e o espaçamento entre picos e vales. Esses parâmetros são, em geral, avaliados em cinco amostras de diferentes comprimentos, cada um correspondente a um quinto da avaliação do comprimento e, em seguida, tomados como valores médios destes.

Figura 7 – Diferentes perfis de rugosidade com a mesma rugosidade média



Fonte: Santos e Júlio (2013).

Dentre os equipamentos comumente utilizados para a medição de rugosidade está o rugosímetro, porém existem problemas na utilização deste por ser um método

de contato, onde o apalpador muitas vezes danifica a amostra e também ocasiona erros principalmente em razão da geometria deste que pode não ter contato perfeito com a amostra. Existem diferentes técnicas de medição que se apresentam mais atrativas que o rugosímetro por serem não destrutivas, como perfilometria óptica, métodos baseados em microscopia eletrônica de varredura, e microscopia de força atômica. Ainda assim, ao comparar os resultados entre os métodos, costuma-se verificar diferenças consideráveis. (MYSHKIN; PETROKOVETS; CHIZHIK, 1998; RIVERA; MELO, 2001; GARBACZ; COURARD; KOSTANA, 2006).

Garbacz, Courard e Kostana (2006) analisaram diversos parâmetros de geometria da superfície de concreto, assim como suas relações com a aderência em sistemas de reparo. Foram utilizadas as seguintes técnicas para a preparação do concreto: a trituração, o jato de areia, o jateamento e a moagem mecânica. Já as técnicas de medição correspondente a diferentes níveis de observação para caracterizar a rugosidade destas superfícies foram a perfilometria a laser, perfilometria mecânica, microscopia eletrônica de varredura e método macroscópico através da utilização de índice de rugosidade superficial.

Todos os métodos de medição utilizados na pesquisa indicaram a maior rugosidade obtida através do jateamento, sendo que a perfilometria a laser produziu uma imagem mais detalhada do perfil da superfície em relação ao método mecânico e os valores dos parâmetros de perfilometria a laser foram de 1 a 7 vezes superiores às medidas por abordagem mecânica, sendo que apenas os valores médios de rugosidade foram semelhantes para ambos os métodos e tipos de tratamento. As relações entre resistência de aderência e os parâmetros que descrevem a geometria da superfície em diferentes níveis indicaram que, além da rugosidade da superfície, a presença de fendas e fragmentos de concreto soltos são fatores importantes que afetam positivamente a aderência no sistema. (GARBACZ; COURARD; KOSTANA, 2006).

2.3 Argamassas de Revestimento com Fíler

O desempenho de argamassas de revestimento está relacionado a distribuição granulométrica dos agregados miúdos utilizados em sua mistura, tanto no aspecto da morfologia e textura das partículas constituintes assim como as proporções de tamanhos propícios. (SILVA; CAMPITELLI, 2006). Como alternativa

de melhorar o empacotamento se tem a utilização de fíler como adição ou substituição na dosagem de argamassas de revestimento, dentre os quais podem ser citados: materiais pozolânicos, saibros, pó de mármore, pó de quartzo, pó calcário, solos finos beneficiados, dentre outros. No caso da substituição de uma parcela de areia natural existe a colaboração para a proteção deste recurso natural, que representa um percentual considerável da massa total dos materiais secos e da argamassa pronta. (ANGELIM; ANGELIM; CARASEK, 2003). Já no caso da substituição do cimento, se tem a diminuição do impacto ambiental gerado pelas fábricas que poluem o ambiente através da emissão de poluentes gasosos e material particulado. (REIS et al., 2017).

Arnold e Kazmierczak (2009) avaliaram as propriedades de argamassas com utilização de areia de britagem preparadas com teores de fíler e distribuições granulométricas diferentes de agregados. Foi constatado que argamassas com agregados de maior diâmetro máximo são mais resistentes à compressão, e o módulo de finura dos agregados miúdos empregados na pesquisa desempenham grande influência no módulo de elasticidade das argamassas, sendo diretamente relacionados (quanto maior o módulo de finura, maior o módulo de elasticidade). Com o intuito de sintetizar e correlacionar os resultados encontrados em função das variações de quantidade de fíler e da granulometria, os autores obtiveram resultados apresentados no Quadro 2, lembrando que, para a realização das argamassas foi mantida como consistência fixa o valor de 240 ± 10mm, ajustando através da quantidade de água.

Quadro 2 – Tendências de comportamento de argamassas com utilização de areia de britagem

Propriedade da argamassa	Efeito do aumento do módulo de finura	Efeito do aumento do teor de fíler
Teor de água no traço, mantendo-se a consistência	Diminui	Diminui
Plasticidade via squeeze-flow	Diminui	Aumenta
Teor de ar incorporado	Diminui	Diminui
Densidade de massa aparente no estado fresco	Aumenta	Aumenta
Retenção de água	Indefinido	Aumenta
Resistência à compressão	Aumenta	Aumenta
Resistência à tração na flexão	Indefinido	Aumenta
Módulo de elasticidade dinâmico	Aumenta	Aumenta
Coeficiente de capilaridade	Diminui	Aumenta

Fonte: Arnold e Kazmierczak (2009).

Alguns aspectos importantes que se percebem através deste estudo são a mudança de trabalhabilidade, retração e empacotamento das argamassas com utilização de fíler, fazendo com que a inserção deste aumente o valor de todas as propriedades das argamassas, com exceção do teor de ar incorporado, que diminuiu, ainda assim são necessários ensaios mais aprofundados sobre o tema, com avaliação do desempenho e interação dessas argamassas com diferentes substratos, por exemplo. (ARNOLD; KAZMIERCZAK, 2009).

Com a finalidade de avaliar a influência de adições com elevados teores de fíler, no comportamento de argamassas, Angelim, Angelim e Carasek (2003), utilizaram pó de calcário, pó de granulito, pó de micaxisto e saibro, provenientes do estado de Goiás, mas de jazidas distintas, com substituições de partes do agregado até obter os teores de fíler em 30%, 35% e 40%, utilizando materiais anidros. Os resultados demonstraram que a adição de fíler pode aumentar a incidência de fissuras por retração, porém, esta condição é dependente da natureza mineralógica da adição, sendo que as argamassas com adição de saibro promoveram elevada ocorrência de fissuração para os teores avaliados, invalidando-os para a utilização.

Outro fator verificado por Angelim, Angelim e Carasek (2003) é que a adição de fíler às argamassas reduziu a permeabilidade e a resistência de aderência à tração dos revestimentos em geral, mas para corpos de prova ensaiados sobre a junta de assentamento, os resultados de resistência de aderência foram

aproximadamente 75% superiores aos identificados sobre os substratos cerâmicos. Por fim, os autores verificaram a viabilidade da utilização de pó calcário até o teor máximo de fíler de 40%. As adições de micaxisto e granulito também podem ser empregadas desde que não excedam o percentual de 35%, sendo que a utilização de micaxisto apresentou melhor desempenho quanto a fissuração.

A escolha do teor de fíler a ser utilizado deve ser realizada com muita cautela, tanto na substituição quanto na adição, pois uma quantidade elevada melhora a trabalhabilidade no estado fresco, mas também pode ocasionar maior retração e fissuras das argamassas de revestimento em seu estado endurecido (KAZMIERCZAK; ARNOLD, 2012). Corroborando isto está a pesquisa de Rosa (2013), que comparou e analisou a retração das argamassas através da relação com a fissuração utilizando teores de 1,5%, 6%, 10%, 20% e 30% de fíler de areia de britagem e verificou a viabilidade de utilização até 10%, tendo em vista que o percentual de 20% demonstrou influência expressiva na fissuração e o de 30% além disso, manifestou elevada retração além de resultados baixos de resistência de aderência à tração.

Miranda e Selmo (2006) analisaram o efeito de materiais passantes na peneira 75 μm nas propriedades das argamassas de revestimento através da utilização de resíduos de construção e demolição. Os autores realizaram rigoroso controle quanto à composição dos resíduos em utilização, evitando que o percentual maior ou menor de determinando componente pudesse alterar os resultados. Ao final da pesquisa, verificaram que a retração por secagem aos 63 dias das argamassas aumentou proporcionalmente com o aumento do teor de fíler das misturas, sem qualquer correlação evidente com a relação água/cimento, uma vez que as argamassas tinham uma relação água/cimento menor. Este fato é importante, pois indica que a distribuição dos tamanhos de poros gerados pela presença de fíler nas misturas teve um efeito maior sobre a retração por secagem do que a porosidade introduzida pela própria relação água/cimento.

Já a pesquisa de Farinha, De Brito e Veiga (2015) analisou o comportamento de argamassas de revestimento com adição dos agregados através da utilização de fíler de louça sanitária em percentuais de 0%, 10%, 15% e 20% do volume dos agregados naturais. Utilizando lupa para a observação da interface de todas as argamassas estudadas interagindo com o substrato, foi verificado microfenda de 50 μm de largura na argamassa referência, enquanto que na incorporação de 10% de

fíler este valor ficou em 30 µm. A incorporação de 15% ainda se demonstrou favorável em relação à referência, apresentando microfenda de 40 µm, no entanto, argamassas com teor de 20% de fíler de louça provocou aumento considerável da microfenda, sendo que esta chegou a 120 µm de largura.

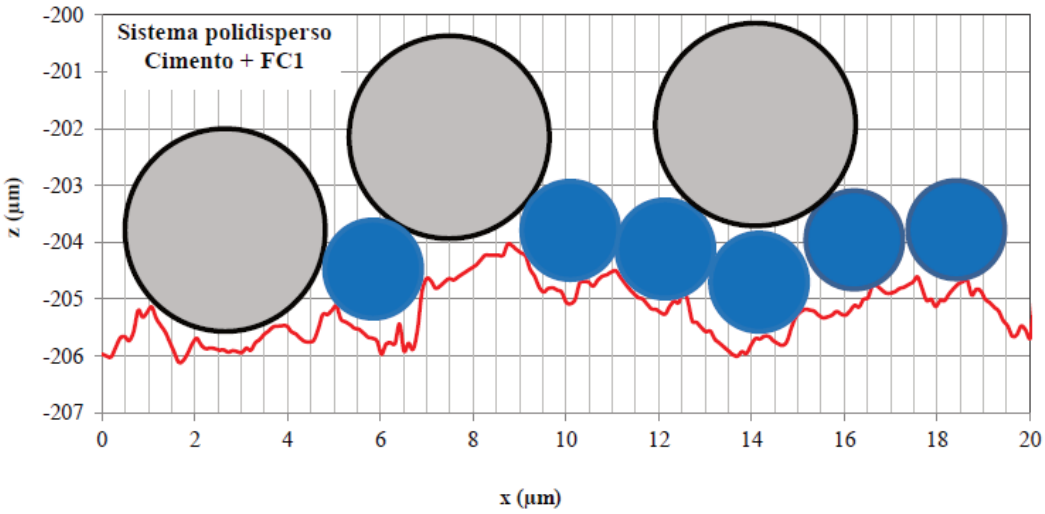
Pesquisas prévias e relacionadas a esta foram realizadas por Silva, De Brito e Veiga (2009), Braga, De Brito e Veiga (2012) e Oliveira, De Brito e Veiga (2013), sendo que para tais foram utilizados fíler de cerâmica, concreto e vidro, respectivamente, e foram correlacionadas com os resultados encontrados com a utilização do fíler de louça sanitária. Como resultado foi verificado que a secagem de todas as argamassas dos estudos citados acima é mais acentuada nos primeiros 15 dias, sendo que a taxa de evaporação é menor nas argamassas com incorporação de louça, sendo este fato justificado em razão de que os poros capilares das argamassas com a utilização deste resíduo serem menores, tornando mais difícil a saída da água.

Sales, Sá e Santos (2014) utilizaram fíler de mármore, em substituições de 0%, 20% e 40% em relação apenas ao agregado miúdo por pó de mármore, constataram que a utilização do fíler de mármore gerou maior molhabilidade e coesão das argamassas.

Como forma de mostrar a ação de empacotamento, Costa, Cardoso e John (2016) demonstraram o efeito do teor e da dispersão de fíler calcário na aderência substrato-matriz cimentícia através da substituição de 0%, 30% e 60% do teor de cimento. O fíler calcário da pesquisa possuía partículas com tamanho máximo de 20 µm e pelo menos 90% das partículas menores que 11 µm, consequentemente a área superficial volumétrica do fíler calcário foi 37% superior à do cimento.

Através do perfil topográfico do substrato cerâmico obtido por interferometria a laser em uma magnificação de 100 vezes e o diâmetro das partículas de cimento e do fíler calcário (D10 2,87 µm e 1,39 µm, respectivamente), adquiridos por meio de granulometria a laser, foi realizada uma simulação sobre a deposição destas, demostrada através da Figura 8, onde o cimento está representado em cinza e o fíler calcário em azul.

Figura 8 – Simulação do recobrimento da superfície do bloco cerâmico por uma matriz polidispersa constituída de cimento e o fíler calcário



Fonte: Costa, Cardoso e John (2016).

Os autores explicam que por mais que exista um aumento do contato efetivo com a utilização deste fíler calcário, poderiam ser utilizadas partículas ainda mais finas para melhorar esta interação, embora se saiba que não há um contato perfeito entre a argamassa e o substrato, a inserção de partículas menores promove um melhor recobrimento do substrato. Costa, Cardoso e John (2016) também verificaram que a substituição em até 30% do cimento por fíler calcário não afetou os resultados de resistência de aderência à tração, porém, em teores maiores a redução é verificada, sendo sugerido para esses teores a utilização de dispersante e partículas mais finas, em escala nanométrica, ao sistema de revestimento.

2.4 Determinação da Resistência de Aderência à Tração

No Brasil, as normas que especificam condições e ensaios de resistência de aderência à tração são as seguintes: NBR 13528 (ABNT, 2010a), NBR 13749 (ABNT, 2013b) e NBR 15258 (ABNT, 2005e). A NBR 13528 (ABNT, 2010a) especifica a execução do ensaio de resistência de aderência à tração, com o número mínimo de corpos de prova por ensaio, distribuição destes, como se dá o corte e a colagem das pastilhas no revestimento, o cálculo da resistência de aderência, as formas de ruptura dos corpos de prova, assim como indicações dos resultados obrigatórios e dados opcionais para serem indicados no relatório de

ensaio. Já a NBR 13749 (ABNT, 2013b) descreve as condições, aspectos de aceitação e rejeição, espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos, limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única e alguns fenômenos patológicos que podem acontecer no sistema de revestimento. Por fim, a NBR 15258 (ABNT, 2005e) indica a determinação da resistência potencial de aderência à tração de argamassas de revestimento, sendo esta norma específica para a realização de ensaios de laboratório, com padronização do substrato para isolar esta variável perante os resultados encontrados, sendo este substrato o mesmo que o recomendado nos ensaios para caracterização de argamassa colante industrializada.

Os parâmetros de aceitação e rejeição dos resultados, expostos através da NBR 13749 (ABNT, 2013b), citam que o revestimento deve ser aceito se para cada grupo de doze ensaios realizados, com idade igual ou superior a 28 dias, pelo menos oito valores forem iguais ou superiores aos indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única

Local		Ra (MPa)
Parede	Interna	≥ 0,20
	Externa	≥ 0,30

Fonte: Adaptado pela autora a partir da NBR 13749 (ABNT, 2013b).

A resistência de aderência à tração é ocasionada devido aos esforços normais gerados durante a utilização de um sistema de revestimento, porém o ensaio para a determinação desta propriedade apresenta limitação devido ao elevado coeficiente de variação dos resultados. Este fenômeno decorre de diversos fatores, entre eles: tipo de substrato, tipo de argamassa, processo de execução do sistema de revestimento e condições climáticas, conforme mencionado no item 2.1 desta pesquisa. (CARASEK; 2010).

Outro fator que pode gerar grande variação nos resultados é o dispositivo de corte dos corpos de prova, consistindo em um copo cilíndrico de altura superior à espessura do sistema de revestimento em estudo, possuindo borda diamantada, especificada de acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010a). Visando minimizar o efeito dos danos que o sistema de revestimento está sujeito no processo de preparo

com a utilização de serra copo, Valentini, Kazmierczak e Schäfer (2016) realizaram um novo método de moldagem de exemplares para o ensaio de resistência de aderência à tração em laboratório, utilizando anéis de PVC com diâmetro interno de 50 mm visando à delimitação prévia dos locais de ensaio, conforme é demonstrado através da Figura 9.

Figura 9 – Delimitação prévia dos locais de ensaio com a utilização de anéis de PVC no substrato cerâmico

Fonte: Valentini, Kazmierczak e Schäfer (2016).

Os autores relataram que os ensaios realizados de acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010a) apresentaram um decréscimo na ordem de 11% na resistência de aderência à tração quando comparados aos conjuntos que utilizaram a nova metodologia. Outro fato reportado é que o coeficiente de variação também foi inferior nos conjuntos realizados com a nova metodologia, sendo a justificativa dada pelo fato da argamassa e da interface argamassa/substrato avaliadas nesta metodologia não sofrerem danos durante o preparo das amostras para ensaio de resistência de aderência à tração, pela exclusão da etapa de corte do revestimento com serra copo.

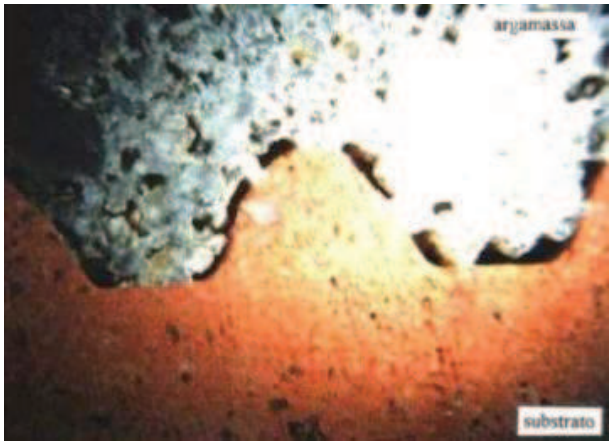
Já em âmbito internacional, vários órgãos de normalização especificam métodos de ensaio para esta propriedade, podendo ressaltar os seguintes: Cahier 2669-4 (CSTB, 1993); DIN 18555 – Part 6 (1987); EN 1015-12 (NBN, 2016); FE Pa 36 (LNEC, 1986); NBN 813-05 (IBN, 1969); e RILEM MR-21 (1996).

A resistência de aderência é composta por duas resistências, a resistência de aderência à tração e ao cisalhamento, sendo estas combinadas com a extensão de aderência. A extensão de aderência consiste na razão entre a área de contato efetivo do revestimento e a área total possível de ser aderida sobre o substrato,

sendo que para se obter uma boa extensão de aderência é necessário a ancoragem mecânica da argamassa nas reentrâncias e saliências da base. (CARASEK, 1996; KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI e COLLATO, 2007).

Como método de avaliação da extensão de aderência Carasek (1996) realizou fotografias obtidas em lupa estereoscópica, com ampliações de 20 até 60 vezes para conseguir identificar a área de contato entre substrato e argamassa. Através das fotografias foi possível realizar as medidas de extensão de aderência das amostras em estudo, sendo que a Figura 10 mostra falha da extensão na interface substrato/argamassa. Carasek (1996) explica que superfícies mais rugosas geram maior área superficial, proporcionando maior resistência de aderência e consequente extensão de aderência, porém, foi observado que blocos cerâmicos com faces onduladas prejudicavam a extensão de aderência, tendo em vista que as argamassas com menor trabalhabilidade não penetram nas reentrâncias destes.

Figura 10 – Fotografia obtida em lupa estereoscópica, com ampliação de 20 vezes de argamassa de cimento e areia aplicada em substrato com face ondulada

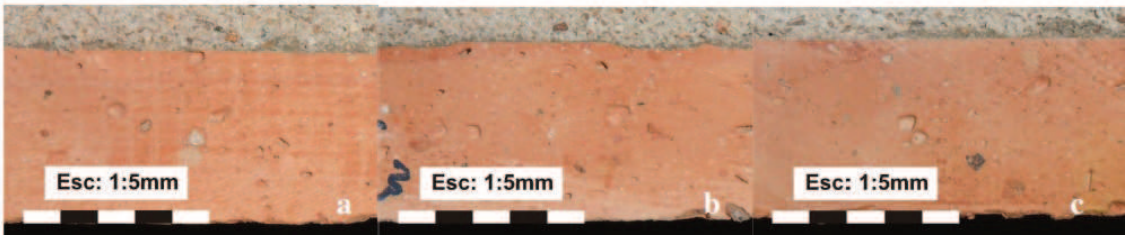


Fonte: Carasek (1996).

Erhart (2014) em seu trabalho adaptou o método empregado por Carasek (1996), onde foram escolhidas três amostras aleatórias de cada uma das temperaturas de queima dos sistemas de revestimento executados e estas foram analisadas através de lupa estereoscópica, fotografadas com câmera digital acoplada, com ampliação de 63 vezes, com o intuito de detectar a extensão de aderência de forma qualitativa. A amostra de substrato com temperatura de queima de 900°C e aplicação de chapisco com cinza de casca de arroz em diferentes teores de substituição em relação ao cimento está exposta na Figura 11. Na pesquisa a

extensão de aderência do chapisco foi considerada satisfatória com pequeno número de falhas pontuais detectadas, no entanto, cabe salientar que, caso fosse realizada análise na escala micro, o comportamento e resultados encontrados poderiam ser totalmente diferentes.

Figura 11 – Extensão de aderência em substratos de 900°C com teor referência, teor de 5% e 10% de cinza de casca de arroz nas argamassas de revestimento



Fonte: Erhart (2014).

Já Sentena (2015) realizou imagens com câmera digital e estas foram introduzidas ao software AutoCAD, sendo inseridas com escalas por meio de relação entre duas dimensões e medições realizadas com paquímetro digital de cada amostra, sendo que as extensões foram avaliadas através da criação de polilinhas geradas manualmente e calculadas por ferramentas existentes no software. Através dos dados foi possível calcular as proporções de aderência de chapisco assim como as proporções na interface chapisco/argamassa. Os resultados indicaram que existe variação de extensão de aderência quanto ao grau de rugosidade do substrato, provocado pela irregularidade na formação das estrias em sua superfície, mas também que o chapisco cobriu a superfície do substrato cerâmico de maneira satisfatória.

Além das características de rugosidade dos substratos, as características químicas da superfície podem também influenciar do desenvolvimento da área de contato na interface entre a argamassa e o substrato. (STOLZ; MASUERO, 2015). Gonçalves (2004) explica que a ocorrência de falhas no contato da argamassa com o substrato gera uma menor extensão de aderência, sendo que o nível de rugosidade da superfície do substrato e a trabalhabilidade da argamassa de revestimento são fatores importante para o grau de extensão.

Stolz e Masuero (2015) analisaram os principais parâmetros que afetam a área de contato entre substrato e argamassa através de um scanner a laser tridimensional e concluíram que a energia de aplicação da argamassa no substrato é

um fator muito importante para o desenvolvimento de contato da área interfacial. As autoras explicam que é importante padronizar esta variável através da utilização de aplicação mecanizada no lugar da aplicação manual, frequentemente utilizada nas obras brasileiras.

Este fato já vem sendo observado há muito tempo, sendo que Casarek (1996), em sua tese de doutorado, realizou adaptação do lançamento de argamassas em substratos, onde propôs a utilização de uma caixa de queda, onde a argamassa é lançada a uma altura padrão de 15cm, em queda livre, mantendo-se assim fixa a força de impacto da chegada da argamassa ao substrato e restringindo o efeito da variável mão de obra.

Com o passar dos anos, este processo foi aprimorado e passou por modificação quanto à altura, sendo que Costa et al. (2010) avaliaram o efeito da energia de impacto na aderência de argamassas de revestimento, aplicando as argamassas a 1 m e 2 m em relação à superfície do substrato onde a argamassa foi aplicada. O aumento da altura, restringindo apenas o efeito da influência da energia de impacto, aumentou em 41% o valor da resistência de aderência, justificando-se pela eliminação dos vazios ou defeitos na interface substrato/argamassa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos definidos neste trabalho, foi organizado e desenvolvido o programa experimental, sendo estabelecidos os fatores fixos, de controle, a variável de resposta, os materiais e os ensaios. Para tal, foram considerados a disponibilidade de recursos e o cronograma proposto de modo a cumprir todas as atividades dentro do prazo estipulado.

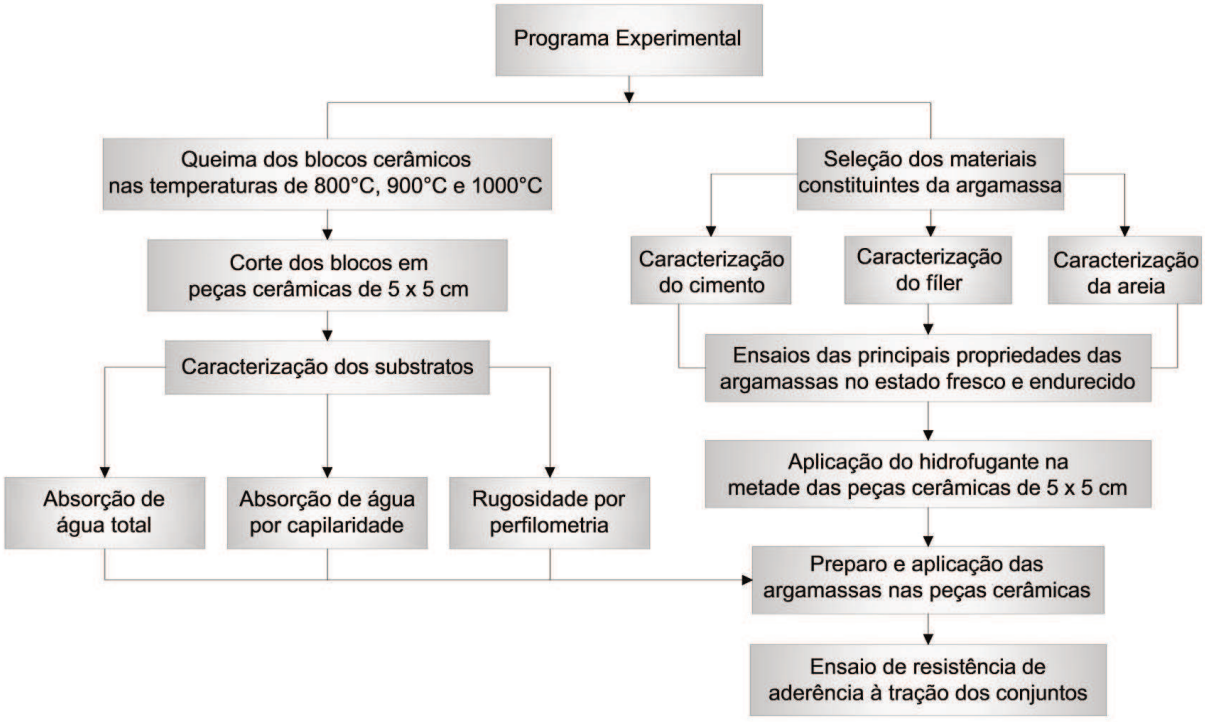
Além disso, apresenta-se neste capítulo a caracterização do cimento, areia e fíler utilizados e os métodos adotados para avaliar as propriedades definidas pela pesquisa.

3.1 Planejamento do Programa Experimental

A elaboração do programa experimental ocorreu com base na revisão teórica realizada, buscando avaliar a influência de fatores, como a absorção de água (total e por capilaridade) e a rugosidade de substratos cerâmicos e também a adição de fíler em argamassas, na resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento.

O organograma do programa experimental desta pesquisa está representado através da Figura 12.

Figura 12 – Organograma do programa experimental



Fonte: Elaborada pela autora.

De modo a contemplar todas as atividades planejadas no programa experimental, os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMC), Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMat) e no Laboratório de Metrologia, todos ambientados no campus da UNISINOS.

A seguir estão especificados os fatores e variáveis da pesquisa, que são impostas com o intuito de atingir os objetivos, sendo elas: fatores de controle, fatores fixos e variável de resposta.

3.1.2 Fatores de Controle

Consistem nos parâmetros empregados no programa experimental, estudados em diferentes níveis, com a possibilidade de causar efeito ou não nas variáveis de resposta. Sendo assim, nesta pesquisa foram utilizados:

a) blocos cerâmicos com diferentes características microestruturais e diferentes características de superfície, obtidos pela queima da mesma

massa cerâmica em três ciclos de queima distintos: 800°C, 900°C e 1000°C;

b) dois níveis de absorção de água por capilaridade e total em cada tipo de bloco (natural, obtido no bloco em seu estado natural, e quase nulo: obtido a partir da aplicação de hidrofugante na superfície dos blocos);
c) argamassas com dois teores de adição de fíler (0% – sendo o referência; e 5%).

3.1.1 Fatores Fixos

Os fatores fixos constituem os parâmetros constantes, sendo eles:

a) tipo de cimento: CP II-Z-32;
b) tipo de agregado: areia quartzosa de leito de rio;
c) trabalhabilidade das argamassas (através do Squeeze-flow);
d) processo de cura dos sistemas de revestimento.

3.1.3 Variável de Resposta

A variável de resposta do programa experimental contempla os valores de resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento. O Quadro 3 apresenta os fatores de controle, seus níveis e a variável de resposta.

Quadro 3 – Fatores de controle e variáveis de resposta

Fatores de controle (independente)	Níveis de controle	Variável de resposta (dependente)
Temperatura de queima dos substratos	3: 800°C, 900°C e 1000°C	Resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento
Absorção de água superficial dos substratos	2: Sem e Com hidrofugante	
Teor de adição de fíler nas argamassas	2: 0% e 5%	

Fonte: Elaborado pela autora.

3.1.4 Análise Estatística

Para a verificação de quais dos fatores citados acima exercem efeito significativo sobre a resposta e também se existe diferença significativa nos resultados encontrados de índice de absorção de água e coeficiente de capilaridade dos substratos com relação da temperatura de queima de cada, foi utilizada a análise de variância (ANOVA). O teste compara estatisticamente a influência de cada fator de controle envolvido no estudo sobre as variáveis de resposta e as análises foram realizadas adotando-se um nível de significância de 95%.

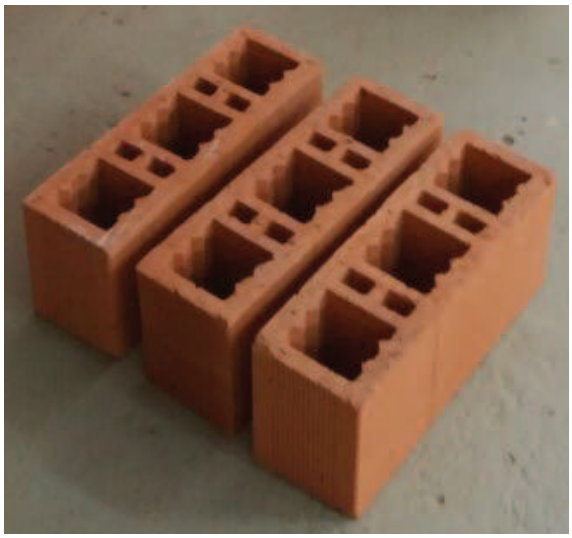
3.2 Materiais

Os materiais que foram empregados nesta pesquisa são descritos na sequência.

3.2.1 Substratos Cerâmicos

Foi utilizado neste programa experimental apenas um tipo de massa cerâmica, proveniente de uma olaria da região, onde os blocos cerâmicos estruturais do tipo bloco e meio com dimensões de 14 x 19 x 44 cm, registrados na Figura 13 através de registro fotográfico, foram coletados, extrudados, secos e, posteriormente, passaram por processo de queima no forno elétrico, do tipo mufla, da marca Irmãos Sanchis e CIA LTDA, modelo DTT 1250, localizado no LMC da UNISINOS, nas temperaturas de 800°C, 900°C e 1000°C.

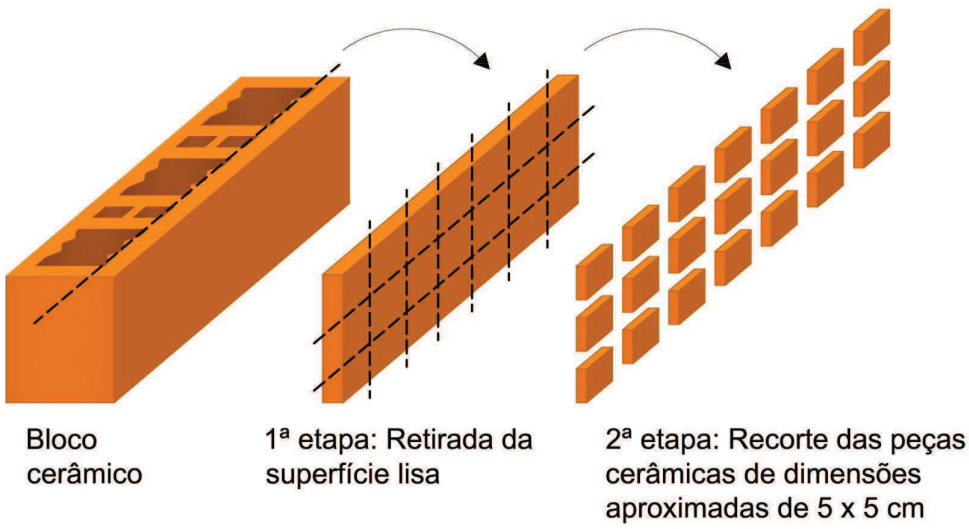
Figura 13 – Blocos cerâmicos utilizados na pesquisa



Fonte: Registrada pela autora.

A queima de todos os blocos cerâmicos ocorreu com rampa de 150°C/hora e patamar de 10 horas. Na sequência desta etapa, os blocos cerâmicos foram cortados na serra circular da marca Norton S.A., modelo Clipper BW2, nas dimensões aproximadas de 5 x 5 cm, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 – Esquema do corte do bloco cerâmico em peças de dimensões aproximadas de 5 x 5 cm



Fonte: Elaborada pela autora.

Ao total desta pesquisa, foram cortados18 blocos cerâmicos, sendo 6 de cada temperatura de queima.

3.2.2 Aglomerante

O cimento escolhido para a pesquisa é o CP II-Z-32. A seleção deste cimento se deve ao fato deste conter um dos menores percentuais de fíler calcário dentre os cimentos existentes no mercado, com o intuito de permitir que o fíler adicionado na argamassa de revestimento exerça influência nos resultados encontrados.

Na Tabela 3 são apresentadas as caracterizações física e mecânica do cimento Portland CP II-Z-32, que foi adquirido em um único lote, enquanto que na Tabela 4 consta a caracterização química deste.

Tabela 3 – Caracterização física e mecânica do cimento Portland CP II-Z-32

Físicas e Mecânicas							
Finura			Tempo de pega (min)		Resistência à compressão (MPa)		
Blaine (cm^2/g)	# 200 (%)	# 325 (%)	Início de pega (min)	Fim de pega (min)	03 dias (MPa)	07 dias (MPa)	28 dias (MPa)
4100	3,4	10,4	290	380	27,6	31,6	-

Fonte: Dados fornecidos pelo fabricante do cimento Porland.

Tabela 4 – Caracterização química do cimento Portland CP II-Z-32

Químicas			
MgO (%)	SO_3 Média (%)	Perda ao fogo Média (%)	Resíduo Insolúvel
3	2,4	5,8	-

Fonte: Dados fornecidos pelo fabricante do cimento Portland.

A granulometria a laser do cimento Portland CP II-Z-32 foi realizada no LCVMat da UNISINOS com o equipamento Microtrac S3500, sendo demonstrada juntamente com o pó de quartzo. O cimento obteve D_{50} de 14,61µm.

3.2.3 Agregado Miúdo

O agregado miúdo natural é de origem quartzosa disponível comercialmente, sendo que foram utilizados apenas os grãos passantes na peneira # 4,8 mm. Previamente aos ensaios, o material foi seco em estufa a 100°C até a secagem total e então foi estocado em um tonel.

Os ensaios que determinam as características físicas do agregado miúdo foram realizados de acordo com Normas Brasileiras indicadas na Tabela 5. Nas Tabelas 5 e 6 estão os resultados de caracterização da areia, conforme dados listados acima.

Tabela 5 – Caracterização da areia de acordo com a NBR NM 45 (ABNT, 2006) e NBR NM 52 (ABNT, 2009)

Característica	Método	Resultado
Massa unitária	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	1589 kg/m³ - 1,59 g/cm³
Massa específica (saturado superfície seca)	NBR NM 52 (ABNT, 2009)	2583 kg/cm³ - 2,58 g/cm³
Índice de volume de vazios	NBR NM 45 (ABNT, 2006)	38,50%

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 6 – Composição granulométrica da areia de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003)

Peneira (mm) - Série normal	Retida (%)	Acumulada (%)
4,75	0	0
2,36	0	0
1,18	0	0
0,6	23	23
0,3	54	78
0,15	22	99
Fundo	1	100
Dimensão máxima característica	1,18 mm	
Módulo de finura	2,00	

Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.4 Fíler

O fíler definido para a utilização da pesquisa é denominado pó de quartzo #325, com composição básica de dióxido de silício (SiO_2). Na Tabela 7, constam as características típicas e referenciais deste, sendo que o fabricante informa que a análise química é uma média de vários lotes, servindo apenas como referencial.

Tabela 7 – Características típicas e referenciais do pó de quartzo

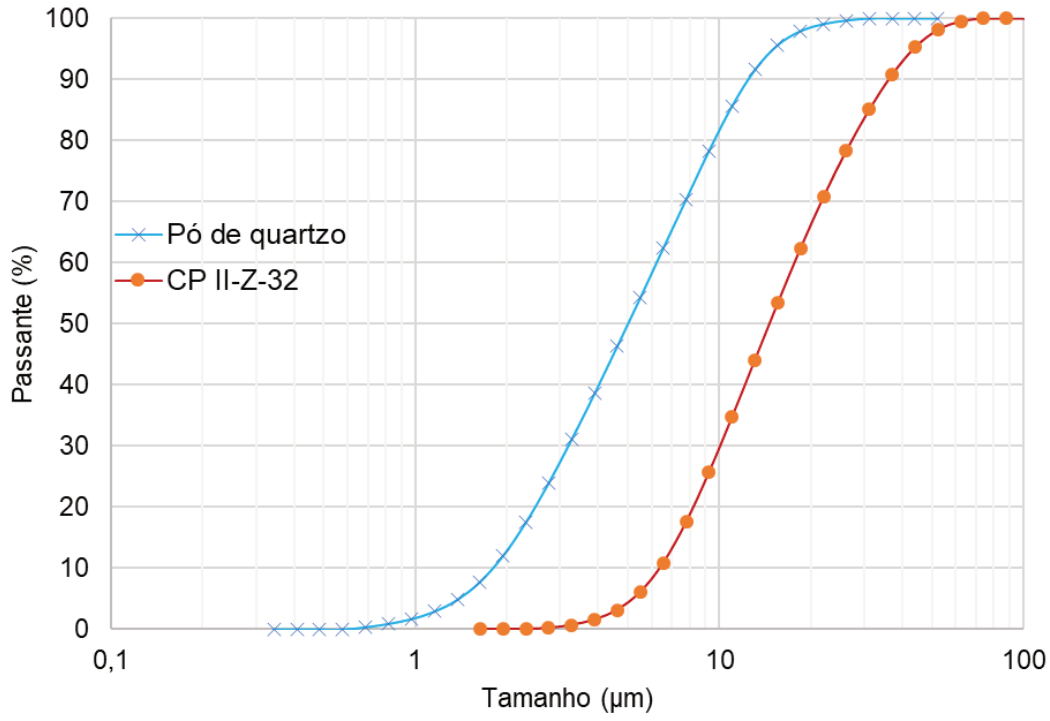
Características típicas e referenciais	
SiO_2	99,66%
Al_2O_3	0,15%
Fe_2O_3	0,04%
TiO_3	0,01%
Perda ao fogo (850 °C)	0,25%
Peso específico	2,65 a 2,90 g/cm³

Fonte: Dados fornecidos pelo fabricante do pó de quartzo.

O tamanho médio de partícula do pó de quartzo foi obtido através de granulometria de difração à laser, realizada no equipamento Microtrac S3500, no LCVMat da UNISINOS. Previamente ao ensaio, a amostra de pó de quartzo recebeu preparo por meio da dispersão do mesmo em água com aditivo superplastificante submetendo-a ao ultrassom na potência de 40 watts por 60 segundos.

A distribuição granulométrica obtida através do ensaio está demonstrada através da Figura 15, onde o pó de quartzo obteve D_{50} de 5,01 µm, ou seja, quase 3 vezes inferior que a dimensão média de partícula do cimento Portland CP II-Z-32.

Figura 15 – Distribuição granulométrica do cimento CP II-Z-32 e do pó de quartzo



Fonte: LCVMat (UNISINOS).

O método de BET, também foi realizado no LCVMat da UNISINOS, onde foi obtida a área superficial do pó de quartzo, sendo ela 1,4105 m²/g.

3.2.5 Água

A água utilizada para a produção das argamassas é da rede pública de abastecimento da cidade de São Leopoldo, Rio Grande do Sul.

3.3 Caracterização dos Blocos Cerâmicos

Para a avaliação da porosidade e rugosidade dos blocos cerâmicos foram realizados os ensaios a seguir, sendo que, em nenhum ensaio de caracterização houve a aplicação do hidrofugante tendo em vista que sua eficiência já foi verificada em estudo piloto descrito anteriormente.

3.3.1 Massa Seca e Índice de Absorção de Água

Estes ensaios foram realizados através das disposições da NBR 15270-2 (ABNT, 2017), utilizando 72 peças cerâmicas, sem aplicação de hidrofugante, 24 por temperatura de queima, extraídos de 9 blocos cerâmicos diferentes, sendo 3 blocos por temperatura de queima.

3.3.2 Absorção de Água por Capilaridade

Previamente ao ensaio descrito acima, foi realizada a determinação da absorção de água por capilaridade, que seguiu o procedimento descrito na RILEM TC 116 PCD (1999), adaptado para substrato cerâmico, ensaiando a face que, posteriormente, recebeu a argamassa de revestimento. Para a realização deste, foram utilizadas as mesmas peças cerâmicas citadas no ensaio de absorção total de água, que foram cortadas em dimensões aproximadas de 5 x 5 cm e secas em estufa a 100 ± 5°C até constância de massa. As 72 peças foram devidamente impermeabilizadas nas laterais com fita adesiva resistente a água e a face oposta à que recebeu contato com a água foi envolta por plástico flexível impermeável, conforme Figura 16.

Figura 16 – Peças cerâmicas durante ensaio de absorção de água por capilaridade

Fonte: Registrada pela autora.

O início do ensaio se deu quando as amostras foram colocadas em uma bandeja com três milímetros de água durante todo o período de ensaio. Após, foi realizado um acompanhamento da pesagem das amostras com os intervalos de tempo descritos a seguir. Para cada um dos intervalos, as amostras foram retiradas da água, secas superficialmente para que se removesse o excesso de água, e então foi registrada a massa.

O procedimento descrito através da RILEM TC 116 PCD (1999) especifica o ensaio em intervalos de: 10 minutos, 1 hora, 4 horas, 24 horas e, eventualmente, ser estendido por mais 24 horas. Porém, para obtenção de uma curva de absorção mais detalhada, os intervalos foram adaptados e realizados em: 1 min, 2, 5, 10, 30 e 60 minutos. A escolha destes intervalos de tempo foi realizada a partir de um projeto piloto, que está descrito a seguir e também através da curva de absorção gerada no trabalho de Schäfer (2015), que utilizou uma quantidade maior de pontos na execução deste e, ao manuseá-la, foi possível perceber que alguns pontos não interferiam no resultado final.

Previamente ao ensaio realizado com as peças cerâmicas, foi elaborado um projeto piloto para constatar a eficácia de dois hidrofugantes de marcas diferentes com o propósito de definir-se o melhor para o uso na pesquisa.

O procedimento de ensaio foi realizado assim como o descrito acima, mas em peças com medidas aproximadas de 10 x 10 cm, e os seguintes intervalos de tempo: 1, 2, 5, 10, 30, 60 minutos, 2 horas, 6, 24, 72 horas e 7 dias. Neste projeto piloto verificou-se que as amostras entravam em fase de saturação no tempo aproximado de 16 minutos, e, em razão disso, o tempo de ensaio para as peças da pesquisa ficaram em 1 hora de ensaio.

No projeto piloto foram ensaiadas 36 peças por temperatura de queima, sendo 12 sem a utilização de hidrofugante, 12 com o hidrofugante “A” e 12 com o hidrofugante “B”. Verificada a eficácia do hidrofugante “A”, que diminuiu a absorção de água em média de 95,52%, decidiu-se por sua utilização na pesquisa e também que não havia necessidade da realização de ensaios de absorção de água nas peças cerâmicas com o hidrofugante aplicado. Os resultados encontrados neste ensaio piloto encontram-se no Apêndice A.

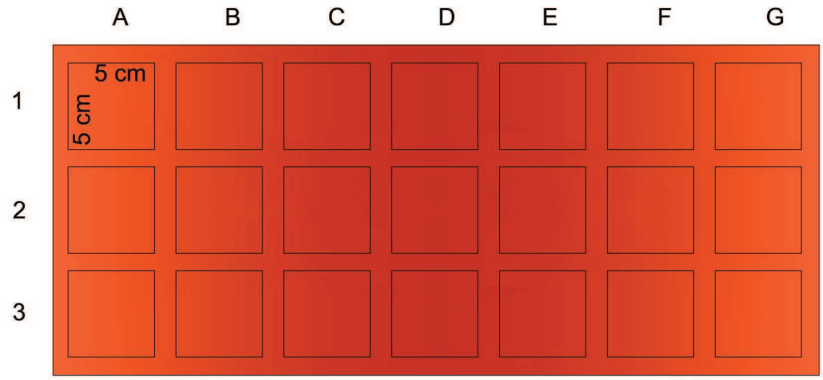
3.3.3 Rugosidade por Perfilometria

O ensaio de avaliação da rugosidade dos substratos foi realizado por meio de perfilometria, sendo que o equipamento utilizado foi a máquina de medição óptica da marca Starrett, modelo Galileo AV 300+, localizado no Laboratório de Metrologia, na UNISINOS.

O equipamento faz a leitura de pontos em intervalo pré-estabelecido das peças cerâmicas, onde foram obtidos valores no eixo X, Y e X, sendo que estes dados foram inseridos em planilha eletrônica para a vetorização da rugosidade de cada peça.

As peças cerâmicas cortadas para o ensaio receberam nomenclatura de acordo com o bloco, temperatura de queima e local de onde as mesmas foram retiradas dos blocos cerâmicos inteiros, que possuem dimensões de 19 cm x 44 cm. A Figura 17 demonstra o exposto.

Figura 17 – Esquema do modo de nomenclatura das peças cerâmicas no ensaio de rugosidade



Fonte: Elaborada pela autora.

O Quadro 4 mostra a nomenclatura das peças cerâmicas utilizadas neste ensaio, onde: B representa o número do bloco; 8/9/10 é a temperatura de queima de cada bloco; L consta qual a linha e C qual a coluna que cada peça foi extraída.

Quadro 4 – Nomenclatura das peças cerâmicas utilizadas no ensaio de rugosidade

800°C	900°C				1000°C
B1 8-L1CA	B1 9-L1CA	B2 9-L1CA	B3 9-L1CA	B4 9-L1CA	B1 10-L1CA

Fonte: Elaborado pela autora.

Foram analisados 6 blocos cerâmicos, sendo uma de 800°C, uma de 1000°C e quatro de 900°C. Em razão do tempo de análise de cada peça no ensaio ser demorado, apenas nas peças cerâmicas com temperatura de queima de 900 °C foi realizada análise da diferença dos resultados encontrados dentro deste mesmo bloco. Após foi realiza a análise dos resultados de rugosidade entre as diferentes temperaturas de queima.

Todas as peças deste ensaio foram retiradas no mesmo lugar de cada bloco cerâmico, na linha 1 e coluna A. Foi realizada a comparação dos resultados das peças cerâmicas com as diferentes temperaturas de queima e, por fim, verificado o coeficiente de variação de rugosidade entre as peças cerâmicas com a mesma temperatura de queima, 900°C.

Para a realização do ensaio foram considerados 1000 pontos, aproximadamente, na face plana das peças cerâmicas, com um distanciamento entre pontos de 1 mm, sendo esta a precisão máxima do equipamento, por isso se

optou pela utilização de peças cerâmicas pequenas em todos os ensaios, com dimensões aproximadas de 5 x 5 cm.

3.4 Produção das Argamassas e Preparo dos Revestimentos

Foram produzidas duas argamassas com traço fixo de cimento e areia, definido através de projeto piloto que será brevemente explicado a seguir, sendo uma a argamassa referência e outra com 5% de adição de teor de fíler sobre a massa da areia, tendo em vista a utilização deste percentual em outros trabalhos realizados no grupo de pesquisa.

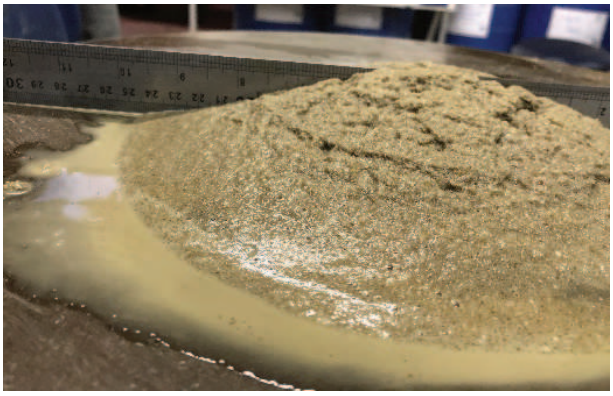
A argamassa referência teve quantidade de água fixa de modo a contemplar índice de consistência em estudo de 240 ± 5 mm, e, posteriormente, para atingir o índice de consistência de 260 ± 5 mm, foi utilizado aditivo superplastificante e a argamassa com utilização de fíler foi ajustada através do ensaio de Squeeze-flow, preconizado através da NBR 15839 (ABNT, 2010c).

A produção das argamassas seguiu o procedimento indicado na NBR 16541 (ABNT, 2016b) e foi realizada no LMC, da UNISINOS, com temperatura controlada de 23 ± 2°C e umidade relativa de 60 ± 5%. Tanto as argamassas utilizadas para a caracterização no estado fresco e endurecido, como para a execução dos sistemas de revestimento foram realizadas através de argamassadeira de bancada.

Foram estudados os traços 1:3, 1:5, 1:7 e 1:9 em massa com materiais anidros no estudo piloto.

O traço 1:9 não apresentou coesão adequada além de ocorrer muita exsudação, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 – Exsudação da argamassa de traço 1:9



Fonte: Registrada pela autora.

Já as argamassas de revestimento dos traços 1:5 e 1:7 se revelaram muito fracas, com resultados muito baixos de resistência de aderência e ruptura na argamassa de revestimento em todos os casos. Isso se deve à grande perda de água destas para o substrato cerâmico.

Por este motivo, foi definida a utilização do traço 1:3, que apresentou melhores resultados no ensaio de resistência de aderência à tração. A quantidade de água e aditivo superplastificante utilizados nas argamassas, além do índice de consistência da argamassa referência encontram-se expostos no Apêndice B. Cabe salientar que a quantidade de água utilizada foi a mesma, porém o teor água/materiais secos (aglomerante, areia e fíler) no segundo traço foi diferente, tendo em vista a adição do fíler, sendo os teores de 0,115 para a argamassa referência e 0,111 aproximadamente para a argamassa com adição de fíler.

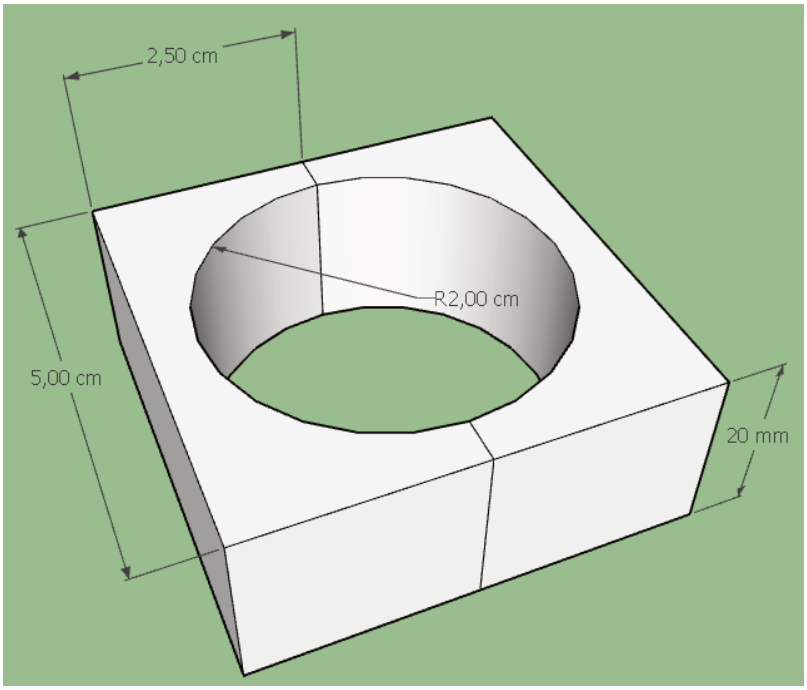
3.4.1 Aplicação das Argamassas de Revestimento nos Substratos Cerâmicos

Com as peças cerâmicas cortadas em dimensões aproximadas de 5 x 5 cm, as mesmas receberam aplicação de fita tape em toda lateral para que a água utilizada na produção das argamassas tenha fluxo unidirecional, impedindo que a água saia pelas laterais.

Das 144 peças cerâmicas no estudo, metade recebeu hidrofugante, sendo aplicado em três demãos, 24 horas previamente a aplicação das argamassas de revestimento. O hidrofugante foi passado no sentido horizontal, vertical e diagonal de cada uma das 72 peças antes que a camada anterior secasse, permaneceram na capela de exaustão de gases por 2 horas, e, após, em estufa na temperatura de 40°C, por 24 horas.

Por se tratar de peças cerâmicas pequenas, o método de aplicação das argamassas foi adaptado, sendo que, primeiramente, foi solicitada a realização de gabarito de aplicação com aço maciço de modo que o diâmetro para aplicação das argamassas ficasse fixo em 40 mm e a espessura padrão do revestimento em 20 mm, conforme está demonstrado na Figura 19.

Figura 19 – Gabarito de aplicação das argamassas de revestimento nas peças cerâmicas



Fonte: Elaborada pela autora.

A aplicação da argamassa, e manuseio do gabarito sempre foram realizadas pelo mesmo operador para evitar que esses fatores gerassem influência nos resultados de resistência de aderência à tração. E, para que se mantivesse padrão e que não houvesse a perda excessiva de água da argamassa após a mistura na argamassadeira, a cuba era envolta com pano úmido, e a argamassa realizada era manuseada apenas até 15 minutos após sua execução.

Para padronizar a energia de impacto das argamassas nos substratos foi utilizado o cilindro metálico de compactação manual do ensaio de Marshall, estipulado através da NBR 15785 (ABNT, 2010b), que possui peso de 4,540 kg e altura de queda de 0,45 m. A altura de queda foi definida de modo a gerar uma Energia Cinética dentro dos parâmetros de energia de impacto de argamassas de revestimento especificados por Antunes (2005). A Figura 20 mostra o momento da aplicação do soquete sobre o sistema de revestimento.

Figura 20 – Soquete metálico aplicado sobre o sistema de revestimento

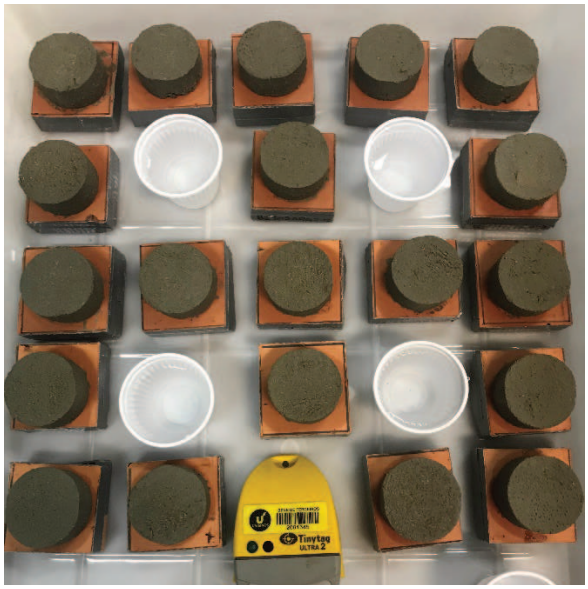
Fonte: Registrada pela autora.

Após a aplicação da energia com soquete metálico, as argamassas foram desempenadas com auxílio de régua metálica e então foi realizada a remoção do gabarito de aplicação das argamassas, finalizando o processo de moldagem do sistema de revestimento.

Posteriormente a aplicação das argamassas nos substratos, os mesmos foram colocados dentro de recipiente plástico, com manutenção da umidade e medição da mesma através do aparelho Tinytag, modelo TGU-4500, permitindo a leitura de umidade relativa durante os 28 dias de cura, até a realização do ensaio de resistência de aderência à tração. A Figura 21 mostra o explanado.

Cada recipiente continha, em média, 30 corpos de prova. Os sistemas com peças cerâmicas que receberam hidrofugante ficaram em recipientes separados dos demais. Por fim, os recipientes plásticos foram adequadamente fechados, permanecendo desta forma, na sala climatizada, até a colagem das peças metálicas de arrancamento.

Figura 21 – Conjuntos dentro de recipiente com umidade controlada através de sensor



Fonte: Registrada pela autora.

O Quadro 5 apresenta as legendas utilizadas nos sistemas de revestimento a fim de facilitar a explicação na análise de resultados e considerações finais.

Quadro 5 – Legenda dos sistemas de revestimento

Temperatura de queima dos substratos		Absorção de água superficial dos substratos		Teor de adição de fíler nas argamassas	
Nome	Legenda	Nome	Legenda	Nome	Legenda
800°C	8	Sem hidrofugante	S	0 % pó de quartzo	REF
900°C	9	Com hidrofugante	C	5% pó de quartzo	ARG1
1000°C	10				

Fonte: Elaborado pela autora.

3.5 Caracterização das Argamassas no Estado Fresco

Os ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco seguiram as normas específicas vigentes.

3.5.1 Índice de Consistência

Para a confecção da argamassa de referência foi adotada consistência de 260 ± 5 mm, seguindo os procedimentos descritos através da NBR 13276 (ABNT, 2016a). As argamassas tiveram quantidade de água fixa de forma a atingir um índice de consistência de 240 ± 5 mm, e, na argamassa referência, foi utilizado aditivo superplastificante de modo a que atingisse o índice de consistência de 260 ± 5 mm. A argamassa com utilização de fíler teve a quantidade de aditivo superplastificante dosada de maneira que apresentasse uma curva de Squeeze-flow similar à argamassa referência.

3.5.2 Squeeze-flow

A NBR 15839 (ABNT, 2010c) especifica este ensaio que avalia a trabalhabilidade das argamassas, sendo capaz de detectar, com relativamente boa precisão, as alterações nas características reológicas destas.

Como forma de manter as características reológicas das argamassas em estudo, na argamassa com adição de fíler, foi mantido o teor de água e utilizado aditivo superplastificante de modo a que fosse atingida a mesma curva de Squeeze-flow da argamassa referência. O ajuste foi realizado com o aparelho de Squeeze-flow após 15 minutos da mistura das argamassas na velocidade de 0,1 mm/s.

3.5.3 Retenção de Água

O ensaio consiste em verificar a massa da amostra no estado fresco antes e depois desta passar por processo de sucção de acordo com descrição da NBR 13277 (ABNT, 2005a).

3.5.4 Densidade de Massa

A NBR 13278 (ABNT, 2005b) descreve este ensaio que reporta o peso da amostra de argamassa colocada dentro de um molde cilíndrico padrão, com volume aproximado de 400 cm^3.

3.5.5 Teor de Ar Incorporado

Este ensaio também é determinado pela NBR 13278 (ABNT, 2005b), pois os resultados encontrados nestes podem ser correlacionados, sendo que, geralmente uma menor densidade de massa implica no aumento do teor de ar incorporado da argamassa.

3.6 Caracterização das Argamassas no Estado Endurecido

Os ensaios de caracterização das argamassas no estado endurecido seguiram as normas específicas vigentes.

3.6.1 Absorção de Água por Capilaridade

No Brasil existem duas normas referentes a absorção de água por capilaridade: a NBR 9779 (ABNT, 2013d) e a NBR 15259 (ABNT, 2005f).

O método escolhido para esta pesquisa foi o da NBR 15259 (ABNT, 2005f), específico para argamassas de assentamento e revestimento, que estabelece a moldagem de três corpos de prova nas dimensões de 4x4x16cm, devendo ser ensaiados aos 28 dias de idade, sendo que sua superfície deve ser lixada e limpa com pincel. A norma solicita que as faces quadradas dos corpos de prova sejam posicionadas em recipiente de ensaio com nível de água constante a 5±1mm, mas esta não prevê a vedação lateral e também não considera esta área na fórmula de absorção de água por capilaridade, que considera a área como 16cm², ou seja, apenas a face quadrada.

3.6.2 Absorção de Água Total – Índice de Vazios e Massa Específica

A NBR 9778 (ABNT, 2005i) regulamenta este ensaio, onde a absorção é dependente da massa dos corpos de prova secos em estufa à temperatura de 105 ± 5°C por 72 horas e então saturá-los em água. No entanto, a temperatura de ensaio foi alterada para 40°C, até a constância de massa, de modo que as amostras não sejam danificadas de forma microestrutural e, para cada tipo de argamassa foram ensaiados três corpos de prova nas dimensões de 4x4x16cm.

3.6.3 Resistência à Tração na Flexão

O ensaio foi realizado conforme as especificações da NBR 13279 (ABNT, 2005c), aos 28 dias de cura, utilizando 3 corpos de prova por tipo de argamassa com dimensões de 4x4x16cm e uma velocidade de carregamento de 50±10N/s.

3.6.4 Resistência à Compressão

A NBR 13279 (ABNT, 2005c) indica a utilização das metades dos três corpos de prova do ensaio de tração na flexão no equipamento aplicando carga de 500 ± 50 N/s até a ruptura dos corpos de prova.

3.6.5 Determinação da Variação Dimensional e de Massa

A determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear) seguiu o descrito na NBR 15261 (ABNT, 2005g), onde foram empregados três corpos de prova por tipo de argamassa, com dimensões de 2,5x2,5x28,5cm, sendo que estes permaneceram nos moldes durante as primeiras 48 ± 6 horas, contadas a partir do início da mistura da argamassa, em ambiente de laboratório e devidamente protegidos contra a perda de umidade.

Após a desforma os corpos de prova foram identificados, para que houvesse uma referência, de modo que os mesmos fossem colocados na mesma posição no aparelho de medida. A norma indica a determinação da massa dos corpos de prova e as leituras iniciais, consideradas L_0 e m_0, registrando os valores obtidos nas idades de 1 dias, 7 dias e 28 dias a contar da leitura inicial. Porém, para a realização de uma curva de variação dimensional e de massa mais detalhada, os intervalos foram adaptados e também foram realizados nas idades de 14 e 21 dias.

3.6.6 Densidade de Massa

O ensaio é descrito através da NBR 13280 (ABNT, 2005d) e consiste em determinar, com o auxílio de um paquímetro com resolução de 0,1 mm, a altura, largura e o comprimento de cada corpo de prova prismático de 4x4x16cm em duas posições, em centímetros, arredondando ao décimo mais próximo. A norma também solicita que se determine a massa do corpo de prova, registrando-o em gramas e

arredondando ao décimo mais próximo para que se consiga aplicar na fórmula de densidade de massa. Os corpos de prova utilizados no ensaio foram os mesmos que, posteriormente passaram pelos ensaios de tração na flexão e compressão, sendo 3 corpos de prova por tipo de argamassa.

3.6.7 Módulo de Elasticidade Dinâmico através da Propagação de Onda Ultra-sônica

O ensaio seguiu a NBR 15630 (ABNT, 2008a) onde foram utilizados três corpos de prova para cada tipo de argamassa, com dimensões de 4x4x16cm, curados em condições de laboratório durante 28 dias, então foram realizadas as leituras de propagação de ondas, com três repetições por amostra, conforme solicita a norma supracitada.

3.7 Resistência de aderência à tração

A determinação da resistência de aderência à tração segue a NBR 13528 (ABNT, 2010a), sendo que foi realizado aos 28 dias da aplicação das argamassas nas peças cerâmicas. O equipamento utilizado foi da marca Dinatest, modelo DS2-DPU-1100, com capacidade máxima de 5000 N.

A partir dos fatores de controle e níveis de estudo, obteve-se um total de 12 combinações, sendo que a NBR 13528 (ABNT, 2010a) especifica que cada ensaio é composto por 12 corpos de prova de mesma característica.

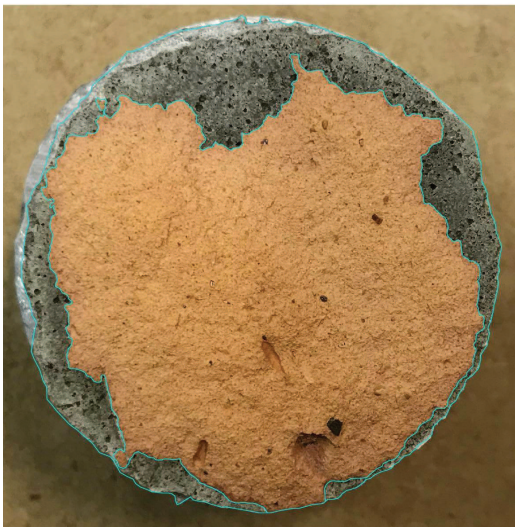
O sistema de revestimento recebeu a colagem aos 28 dias de cura das pastilhas metálicas, sendo estas aplicadas diretamente sobre as argamassas, através de adesivo plástico composto por monômetro de estireno (30 a 40%) e ingredientes não perigosos (60 a 80%), de acordo com informações disponibilizadas pelo fabricante.

As pastilhas receberam devida limpeza com utilização de álcool e, pelo menos 24 horas antes da realização do ensaio de resistência de aderência à tração, as mesmas foram coladas nos sistemas de revestimento com utilização de massa plástica.

Para a determinação da área efetiva de ruptura foram realizadas fotografias das amostras com câmera digital com precisão, controle de qualidade e escalas adequadas. Posteriormente, o processo de mensuração destas foi realizado com o

auxílio do software AutoCAD, sendo que a Figura 22 apresenta o corpo de prova 10 do sistema 8 C ARG1.

Figura 22 – Área efetiva de ruptura de amostras arrancadas no ensaio de resistência de aderência à tração



Fonte: Registrada e elaborada pela autora.

4 APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir dos ensaios descritos no capítulo anterior.

4.1 Caracterização dos Blocos Cerâmicos

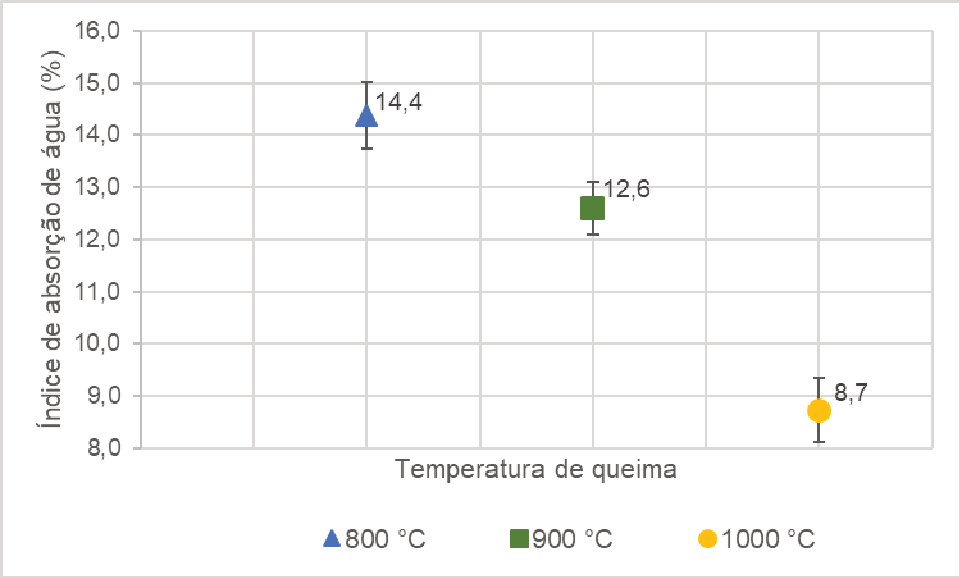
Os resultados dos ensaios de absorção de água por capilaridade, índice de absorção de água e rugosidade por perfilometria são apresentados a seguir.

4.1.1 Índice de Absorção de Água

A média dos resultados encontrados de índice de absorção de água das 24 peças cerâmicas com diferentes temperaturas de queima está exposta na Figura 23. As peças queimadas a 1000°C obtiveram os menores resultados de índice de absorção, enquanto que as peças de 800°C e 900°C apresentaram valores maiores e similares. A diminuição do índice de absorção de água a medida que a temperatura de queima aumenta é esperada em função do refinamento da estrutura de poros das peças ser proporcional a temperatura de queima, e exercer forte impacto nas propriedades mecânicas do substrato. (PINHEIRO; HOLANDA, 2010; SANTANA et. al., 2012).

A bibliografia indica que o índice de absorção de água de substratos influencia na retração das argamassas de revestimento (BASTOS, 2001; HONÓRIO; CARASEK, 2011; PAES, 2004), mas não há consenso sobre sua influência na resistência de aderência dos sistemas de revestimento.

Figura 23 – Índice de absorção de água médio das peças cerâmicas obtidas sob diferentes temperaturas de queima



Fonte: Elaborada pela autora.

Os índices de absorção de água dos substratos, considerando o efeito isolado das diferentes temperaturas de queima, foram analisados através da análise de variância (ANOVA), que se encontra na Tabela 8.

Tabela 8 – Análise de variância (ANOVA) do índice de absorção de água sobre as diferentes temperaturas de queima dos substratos

Fonte da variação	*SQ*	*gl*	*MQ*	*F*	*F crítico*	*Valor de P*	*Efeito significativo*
Temperatura de queima	398,8548	2	199,4274	581,50388	3,129644	6,51823E-44	S
Erro	23,6636	69	0,3430				

Onde: SQ = Soma Quadrada; gl = grau de liberdade; MQ = Média Quadrada; Valor de P - Valor de Prova

Fonte: Elaborada pela autora.

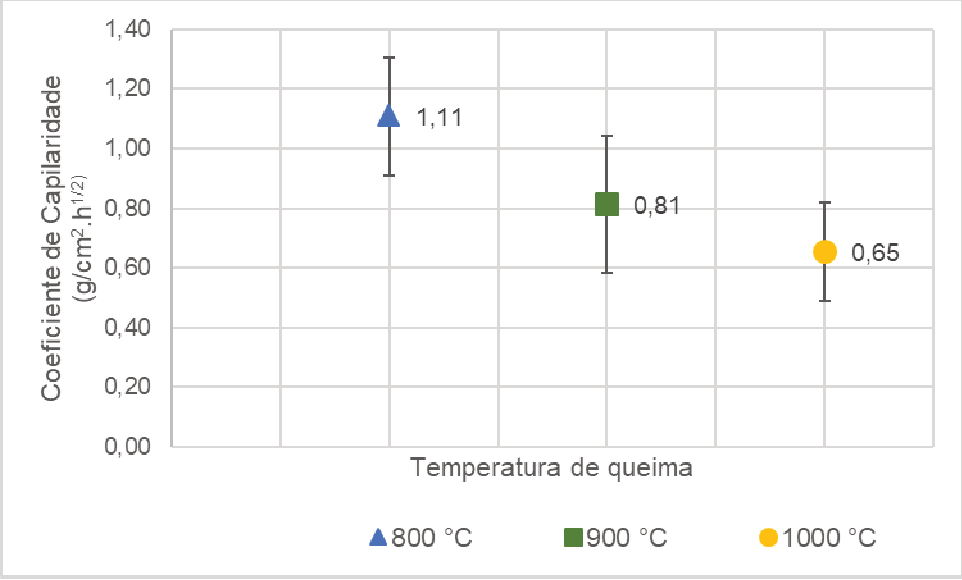
A análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95%, efeito significativo (valor de P inferior a 0,05), indicando que não existe igualdade entre os resultados de índice de absorção de água nas distintas temperaturas de queima do substrato.

4.1.2 Absorção de Água por Capilaridade

A Figura 24 mostra a média dos resultados de absorção de água por capilaridade encontrados nas peças cerâmicas de diferentes temperaturas de queima. Observa-se na literatura que a influência de temperatura de queima pode aumentar ou diminuir a capilaridade dependendo das características da massa cerâmica. (KHALAF; WILSON, 1999; PAGNUSSAT; MASUERO, 2011; PAGNUSSAT, 2013).

Observa-se uma diminuição da capilaridade à medida que há acréscimo na temperatura de queima o que resultou em um maior coeficiente de capilaridade nas peças queimadas a 800°C. O maior coeficiente de capilaridade tende a melhorar a zona de transição entre a argamassa e o substrato, conforme será demonstrado a seguir nos resultados de resistência de aderência à tração dos conjuntos.

Figura 24 – Coeficiente de capilaridade médio das peças cerâmicas obtidas sob diferentes temperaturas de queima



Fonte: Elaborada pela autora.

Comparando os resultados de coeficiente de capilaridade com os resultados encontrados por Erhart (2015) foi possível perceber que os mesmos são menores, já que o autor encontrou nos substratos cerâmicos queimados nas temperaturas de 750°C, 900°C e 1000°C, coeficientes de capilaridade aproximados de 2,32g/cm².h$^{1/2}$, 3,87g/cm².h$^{1/2}$, 1,55g/cm².h$^{1/2}$ respectivamente. Sendo assim, os coeficientes de

capilaridade das peças cerâmicas são pequenos, o que atenua a influência da absorção de água dos blocos em estudo na aderência dos revestimentos.

Os resultados de coeficiente de capilaridade dos substratos, considerando o efeito isolado das diferentes temperaturas de queima, foram analisados através da análise de variância (ANOVA), que se encontra na Tabela 9.

Tabela 9 – Análise de variância (ANOVA) do coeficiente de capilaridade sobre as diferentes temperaturas de queima dos substratos

Fonte da variação	*SQ*	*gl*	*MQ*	*F*	*F crítico*	*Valor de P*	*Efeito Significativo*
Temperatura de queima	2,73081	2	1,3654	40,8904	3,12964	1,93798E-12	S
Erro	2,30403	69	0,03339				

Onde: SQ = Soma Quadrada; gl = grau de liberdade; MQ = Média Quadrada; Valor de P - Valor de Prova

Fonte: Elaborada pela autora.

O resultado da análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95%, efeito significativo (valor de P inferior a 0,05), indicando que não existe igualdade entre os resultados de coeficiente de capilaridade nas temperaturas distintas de queima do substrato.

4.1.3 Rugosidade por Perfilometria

Os valores de rugosidade média das peças cerâmicas obtidas nas diferentes temperaturas de queima estão expostos na Tabela 10.

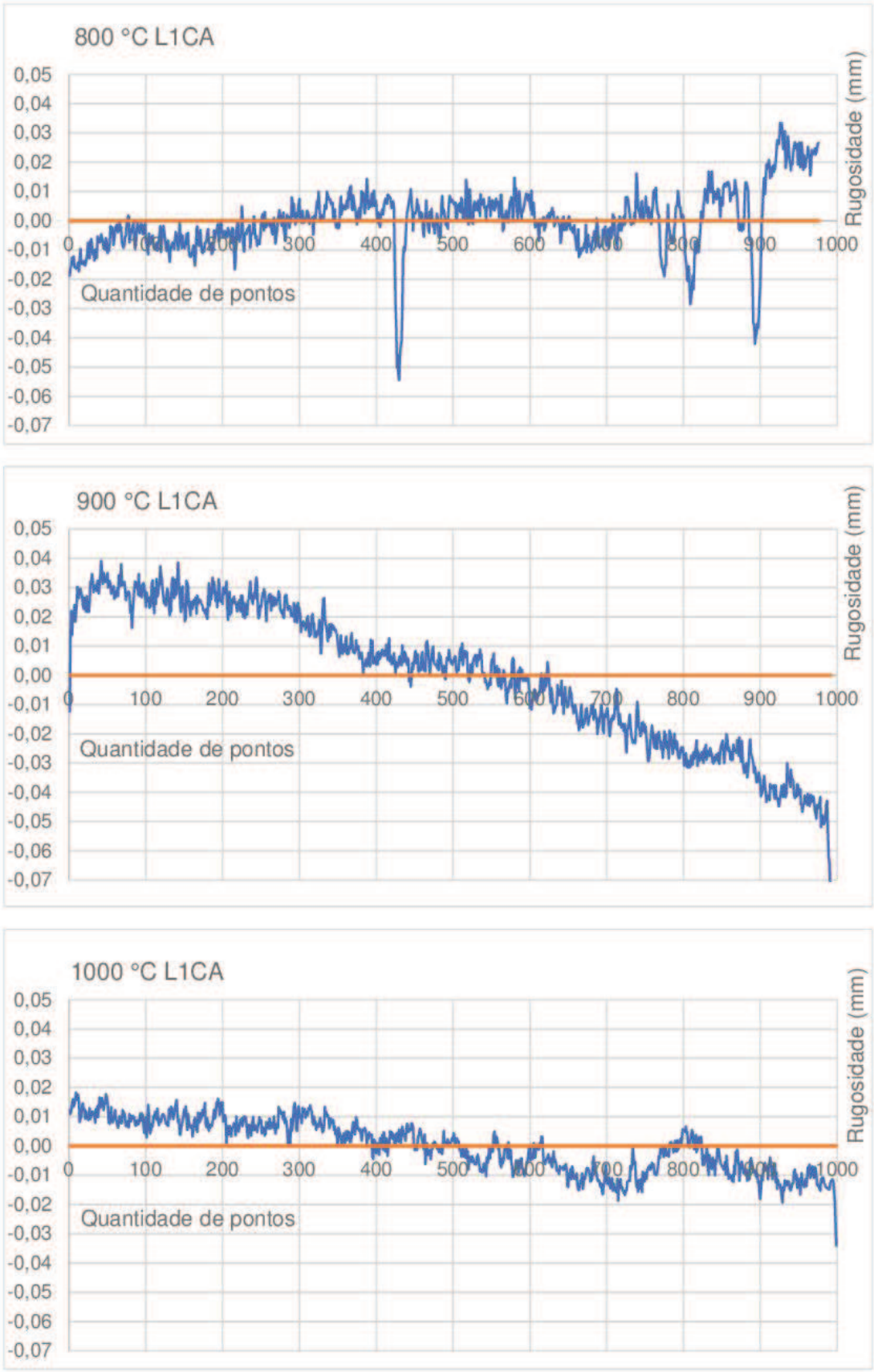
Tabela 10 – Rugosidade das peças cerâmicas com diferentes temperaturas de queima

Legenda	Ra (mm)
800°C	0,03020
900°C	0,00960
1000°C	0,00877

Fonte: Elaborada pela autora.

Através da Figura 25 é possível realizar por análise visual a diferença de rugosidade entre as peças cerâmicas com diferentes temperaturas de queima. Nota-se que o perfil de rugosidade da cerâmica com temperatura de queima de 800°C apresenta maior variação de amplitude mínima e máxima e perfil horizontal mais espaçado.

Figura 25 – Perfis de rugosidade das peças cerâmicas com diferentes temperaturas



Fonte: Elaborada pela autora.

A Tabela 11 apresenta os valores de rugosidade, média, desvio padrão e coeficiente de variação de peças cerâmicas com temperatura de queima de 900°C extraídas de diferentes blocos.

Tabela 11 – Rugosidade das peças cerâmicas com temperatura de queima de 900°C em diferentes blocos

Legenda	Ra (mm)
B1 9-L1CA	0,00771
B2 9-L1CA	0,01074
B3 9-L1CA	0,00982
B4 9-L1CA	0,01012
Média	0,00960
Desvio Padrão	0,00132
Coeficiente de variação	13,74%

Fonte: Elaborada pela autora.

O coeficiente de variação entre os blocos cerâmicos de mesma temperatura de queima é inferior ao existente entre blocos queimados em diferentes temperaturas, o que permite, na tabela 10, a distinção da rugosidade entre os blocos obtidos na temperatura de queima de 900°C com relação aos de 800°C. Entretanto, as cerâmicas obtidas a partir da queima a 1000°C não apresentam uma diferença expressiva de rugosidade em relação aos blocos de 900°C.

A partir dessa análise, conclui-se que as cerâmicas obtidas por queima na temperatura de 800°C apresentaram a maior rugosidade média, distinguindo-se das demais, assim como o encontrado na pesquisa de Pinheiro e Holanda (2010). Esse fato gera a hipótese de que nestas peças a rugosidade seja um fator que influencia a resistência de aderência de modo diferenciado à das demais peças, provavelmente gerando melhora na interface entre as argamassas e esse substrato. A associação destes resultados com os de resistência de aderência dos sistemas de revestimento está apresentada no item 4.3.1.

4.2 Caracterização das Argamassas de Revestimento

Os resultados da caracterização das argamassas de revestimento utilizadas na pesquisa estão expostos a seguir, sendo que estes auxiliam na identificação da influência das propriedades destas nos resultados de resistência de aderência à

tração dos sistemas de revestimento. Os Apêndices B e C apresentam as tabelas detalhadas de cada ensaio.

4.2.1 Estado Fresco

Na Tabela 12 estão os resultados médios do índice de consistência, retenção de água, densidade de massa e do teor de ar incorporado.

Tabela 12 – Caracterização das argamassas no estado fresco

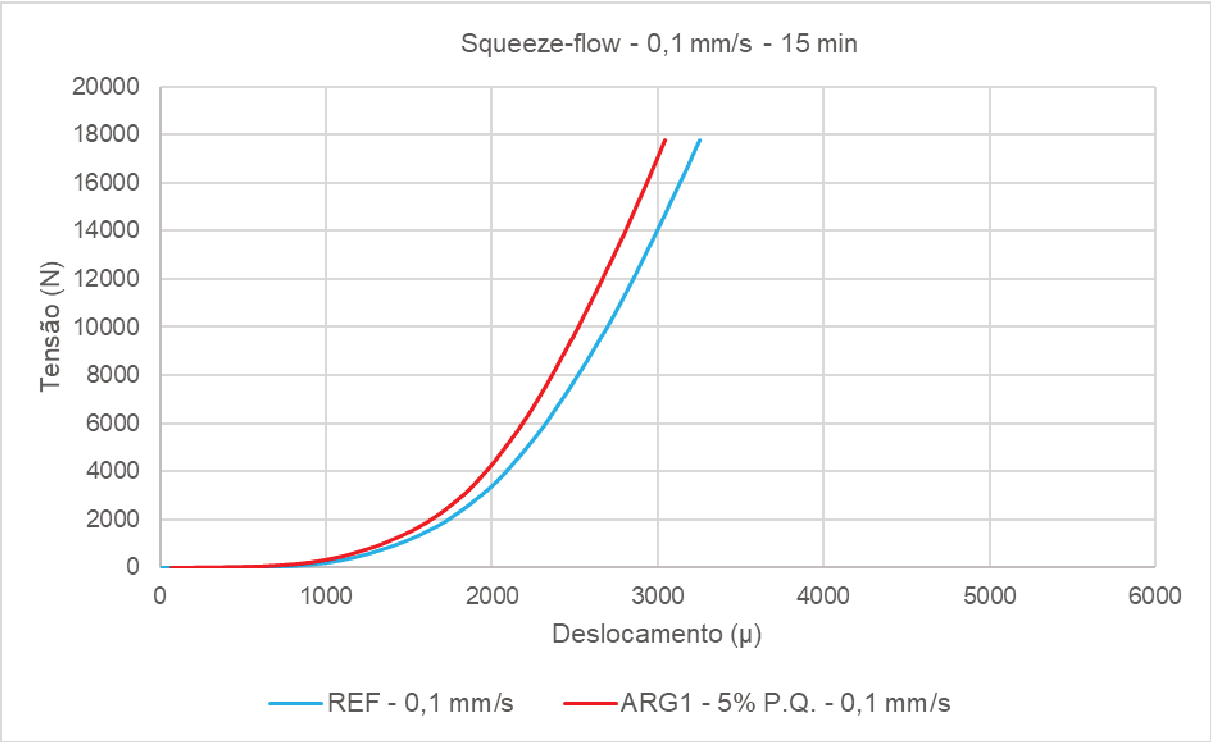
Ensaio	Norma	REF	ARG1	Unidade de medida
Índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016a)	265	-	mm
Retenção de água	NBR 13277 (ABNT 2005a)	98	96	%
Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 2005b)	2109	2118	kg/m³
Teor de ar incorporado	NBR 13278 (ABNT, 2005b)	11	13	%

Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados de retenção de água e densidade de massa das argamassas foram similares. Observou-se um acréscimo de 2% no teor de ar incorporado da argamassa com 5% de adição de fíler, provavelmente decorrente ao uso de aditivo superplastificante, de modo a ajustar as curvas do ensaio de Squeeze-flow.

O índice de consistência foi obtido dentro dos parâmetros expostos no programa experimental e o ajuste das argamassas foi realizado através das curvas geradas no ensaio de Squeeze-flow aos 15 minutos, determinado pela NBR 15839 (ABNT, 2010c), podendo o ajuste ser verificado através da Figura 26.

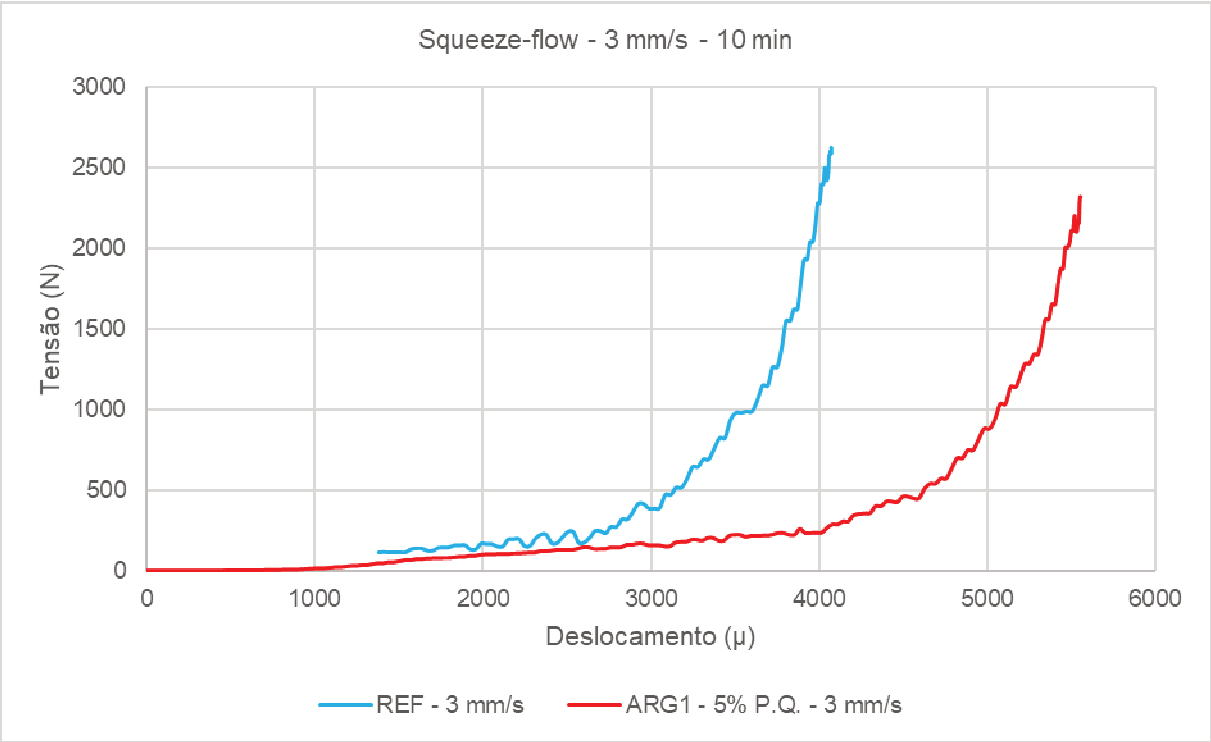
Figura 26 – Comportamento reológico das argamassas aos 15 minutos



Fonte: Elaborada pela autora.

Embora as duas argamassas apresentem um comportamento reológico similar no ensaio com os parâmetros especificados como referência (ensaio na velocidade de 0,1 mm/s após 15 minutos da mistura da argamassa), observa-se que, ao aumentar a velocidade de aplicação de carga de 0,1 mm/s para 3 mm/s (Figura 27), ocorre diferenciação de comportamento entre elas, sendo que nessas condições a argamassa com adição de fíler se torna mais trabalhável, permitindo maior molhabilidade e contato com o substrato cerâmico.

Figura 27 – Comportamento reológico das argamassas aos 10 minutos



Fonte: Elaborada pela autora.

4.2.2 Estado Endurecido

Na Tabela 13 estão os resultados de todos os ensaios de argamassas de revestimento no estado endurecido citados no Capítulo 3. O desvio padrão dos resultados encontram-se entre parênteses.

Tabela 13 – Valores médios de caracterização das argamassas no estado endurecido

Ensaio	REF	ARG1	Unidade de medida
Absorção de água por capilaridade A10	0,7 (0,01)	0,7 (0,01)	g/cm³
Absorção de água por capilaridade A90	0,15 (0,01)	0,14 (0,01)	g/cm³
Coeficiente de capilaridade	1,3 (0,1)	1,2 (0,1)	$g/dm^3.min^{1/2}$
Absorção de água total	8,33 (0,06)	8,14 (0,05)	%
Índice de vazios	16,74 (-0,10)	16,48 (-0,10)	%
Massa específica da amostra seca	2,01 (-0,01)	2,02 (0,00)	g/cm³
Massa específica da amostra saturada	2,18 (-0,01)	2,19 (0,00)	g/cm³
Massa específica da amostra real	2,41 (0,01)	2,42 (0,00)	g/cm³
Resistência à tração na flexão (28 dias)	7,1 (0,3)	7,1 (-0,3)	MPa
Resistência à compressão (28 dias)	30,2 (0,5)	30,8 (0,4)	MPa
Variação dimensional	0,63 (0,07)	0,57 (0,06)	mm/m
Variação de massa	2,88 (-0,13)	2,91 (0,15)	%
Densidade de massa no estado endurecido	2038 (12)	2046 (-33)	kg/m³
Módulo de elasticidade dinâmico	26800 (1039)	26067 (551)	MPa

Fonte: Elaborada pela autora.

Não é possível afirmar que existam diferenças entre os valores de absorção de água por capilaridade, absorção de água total, resistência à tração na flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade dinâmico das duas argamassas. A variação dimensional apresenta uma redução na ordem de 10% com a inserção do fíler na argamassa de revestimento, já a densidade de massa aumenta 0,4%, possivelmente devido ao fato da argamassa possuir 5% de adição de fíler.

De uma forma geral, no estado endurecido a argamassa com adição de 5% de fíler apresenta propriedades similares às da argamassa referência.

4.3 Resistência de aderência à tração

Os resultados de resistência de aderência à tração dos conjuntos estão expostos nas Tabelas a seguir. No Apêndice D constam as Figuras realizadas através de registro fotográfico de cada corpo de prova para a análise do percentual

de ruptura, e no Apêndice E estão os resultados de teor de umidade médio das argamassas no momento do ensaio de resistência de aderência à tração.

Tabela 14 – Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 800°C sem hidrofugante

8 S REF								
CP	Carga (N)	Seção (mm²)	Tensão (MPa)	Formas de Ruptura: (%)				
				(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	996	1314,89	0,76	99,6%		0,4%		
2	221	1300,36	0,17	97,4%		2,6%		
3	468	1283,59	0,36	99,8%		0,2%		
4	672	1318,54	0,51	100,0%		0,0%		
5	1076	1273,24	0,85	85,4%		14,6%		
6	69	1294,41	0,05	100,0%		0,0%		
7	263	1348,74	0,19	99,8%		0,2%		
8	396	1281,47	0,31	99,9%		0,1%		
9	425	1269,23	0,33	99,1%		0,9%		
10	390	1275,14	0,31	99,1%		0,9%		
11	294	1295,68	0,23	99,9%		0,1%		
12	204	1298,24	0,16	97,0%		3,0%		
		Média	0,35	DP	0,24	CV	68,31%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 15 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 800°C sem hidrofugante

8 S ARG1								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	327	1271,13	0,26	99,7%		0,3%		
2	472	1360,27	0,35	99,9%		0,1%		
3	175	1286,77	0,14	99,8%		0,2%		
4	645	1321,54	0,49	99,8%		0,2%		
5	653	1364,41	0,48	84,2%		15,8%		
6	686	1274,71	0,54	100,0%		0,0%		
7	427	1279,36	0,33	99,6%		0,4%		
8	166	1231,63	0,13	100,0%		0,0%		
9	862	1315,75	0,66	95,2%		4,8%		
10	837	1356,13	0,62	99,9%		0,1%		
11	231	1261,67	0,18	99,9%		0,1%		
12	195	1275,77	0,15	100,0%		0,0%		
		Média	0,36	DP	0,19	CV	53,08%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 16 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 800°C com hidrofugante

8 C REF								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	128	1397,56	0,09	99,9%		0,1%		
2	389	1359,83	0,29	99,6%		0,4%		
3	362	1345,71	0,27	100,0%				
4	51	1389,62	0,04	100,0%				
5	298	1367,69	0,22	99,7%		0,3%		
6	138	1407,52	0,10	99,8%		0,2%		
7	161	1396,68	0,12	100,0%				
8	76	1349,83	0,06	100,0%				
9	77	1337,05	0,06	99,9%		0,1%		
10	281	1346,14	0,21	65,5%		34,5%		
11	334	1326,92	0,25	96,4%		3,6%		
12	440	1372,72	0,32	76,4%		23,6%		
		Média	0,17	DP	0,10	CV	60,79%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 17 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 800°C com hidrofugante

8 C ARG1								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	448	1469,59	0,30	97,3%		2,7%		
2	497	1437,83	0,35	98,0%		2,0%		
3	395	1510,41	0,26	60,6%		39,4%		
4	370	1412,85	0,26	99,9%		0,1%		
5	556	1439,40	0,39	78,4%		21,6%		
6	142	1436,04	0,10	99,9%		0,1%		
7	572	1481,85	0,39	97,0%		3,0%		
8	335	1348,31	0,25	98,4%		1,6%		
9	396	1385,00	0,29	76,6%		23,4%		
10	1520	1467,55	1,04	25,2%		74,8%		
11	149	1385,22	0,11	98,8%		1,2%		
12	187	1415,73	0,13	68,7%		31,3%		
		Média	0,32	DP	0,25	CV	76,50%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 18 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 900°C sem hidrofugante

9 S REF								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	83	1306,76	0,06	99,9%		0,1%		
2	0	1304,63	0,00	100,0%				
3	199	1309,33	0,15	100,0%				
4	45	1285,92	0,03	100,0%				
5	188	1272,39	0,15	99,9%		0,1%		
6	188	1294,62	0,15	99,9%		0,1%		
7	102	1271,13	0,08	100,0%				
8	86	1264,61	0,07	99,9%		0,1%		
9	325	1274,71	0,25	97,6%		2,4%		
10	309	1286,13	0,24	100,0%				
11	478	1272,39	0,38	99,8%		0,2%		
12	118	1281,68	0,09	100,0%				
		Média	0,14	DP	0,11	CV	77,78%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 19 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 900°C sem hidrofugante

9 S ARG1								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	620	1281,26	0,48	99,9%		0,1%		
2	269	1273,66	0,21	99,9%		0,1%		
3	573	1269,66	0,45	99,9%		0,1%		
4	499	1266,50	0,39	100,0%				
5	131	1267,76	0,10	99,9%		0,1%		
6	619	1261,25	0,49	99,8%		0,2%		
7	291	1275,56	0,23	97,8%		2,2%		
8	195	1277,88	0,15	99,9%		0,1%		
9	102	1254,13	0,08	99,9%		0,1%		
10	280	1268,18	0,22	100,0%				
11	77	1280,84	0,06	100,0%				
12	392	1271,76	0,31	99,3%		0,7%		
		Média	0,27	DP	0,16	CV	59,32%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 20 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 900°C com hidrofugante

9 C REF								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	383	1389,18	0,28	100,0%				
2	109	1368,78	0,08	99,9%		0,1%		
3	84	1418,63	0,06	99,9%		0,1%		
4	109	1352,43	0,08	99,7%		0,3%		
5	124	1408,85	0,09	99,8%		0,2%		
6	349	1376,66	0,25	99,9%		0,1%		
7	329	1373,81	0,24	100,0%				
8	367	1366,81	0,27	99,6%		0,4%		
9	113	1365,50	0,08	99,9%		0,1%		
10	105	1372,28	0,08	99,9%		0,1%		
11	169	1373,15	0,12	100,0%				
12	141	1384,34	0,10	99,9%		0,1%		
		Média	0,14	DP	0,09	CV	60,28%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 21 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 900°C com hidrofugante

9 C ARG1								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	342	1412,85	0,24	99,8%		0,2%		
2	139	1469,14	0,09	100,0%				
3	273	1420,41	0,19	99,9%		0,1%		
4	235	1401,54	0,17	99,8%		0,2%		
5	233	1516,62	0,15	99,9%		0,1%		
6	662	1449,05	0,46	99,9%		0,1%		
7	585	1466,87	0,40	99,9%		0,1%		
8	260	1497,58	0,17	99,8%		0,2%		
9	114	1409,96	0,08	100,0%				
10	264	1432,01	0,18	99,8%		0,2%		
11	628	1458,96	0,43	97,6%		2,4%		
12	214	1383,46	0,15	99,7%		0,3%		
		Média	0,23	DP	0,13	CV	56,68%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 22 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 1000°C sem hidrofugante

10 S REF								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	120	1411,74	0,09	100,0%				
2	195	1338,78	0,15	100,0%				
3	292	1312,97	0,22	99,9%		0,1%		
4	132	1346,57	0,10	100,0%				
5	157	1364,19	0,12	100,0%				
6	74	1342,89	0,06	100,0%				
7	455	1376,22	0,33	100,0%				
8	351	1342,03	0,26	100,0%				
9	261	1353,30	0,19	99,9%		0,1%		
10	218	1369,44	0,16	99,9%		0,1%		
11	367	1331,66	0,28	100,0%				
12	128	1326,70	0,10	100,0%				
		Média	0,17	DP	0,09	CV	51,26%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 23 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 1000°C sem hidrofugante

10 S ARG1								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	207	1448,60	0,14	100,0%				
2	624	1474,58	0,42	99,9%		0,1%		
3	563	1437,60	0,39	100,0%				
4	271	1393,59	0,19	99,7%		0,3%		
5	0	-	0,00	100,0%				
6	365	1306,98	0,28	100,0%				
7	138	1528,84	0,09	99,9%		0,1%		
8	120	1292,28	0,09	100,0%				
9	157	1354,61	0,12	100,0%				
10	466	1474,35	0,32	99,7%		0,3%		
11	142	1407,52	0,10	99,9%		0,1%		
12	615	1241,39	0,50	99,9%		0,1%		
		Média	0,22	DP	0,16	CV	71,45%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 24 - Resistência de aderência de argamassas referência aplicadas em blocos queimados a 1000°C com hidrofugante

10 C REF								
CP	Carga	Seção	Tensão	Formas de Ruptura: (%)				
	(N)	(mm²)	(MPa)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	153	1396,68	0,11	100,0%				
2	175	1443,43	0,12	100,0%				
3	75	1356,78	0,06	100,0%				
4	226	1361,79	0,17	99,9%		0,1%		
5	255	1383,90	0,18	100,0%				
6	566	1375,56	0,41	100,0%				
7	127	1397,56	0,09	99,8%		0,2%		
8	664	1348,53	0,49	99,9%		0,1%		
9	210	1338,56	0,16	100,0%				
10	232	1340,94	0,17	100,0%				
11	426	1378,19	0,31	99,9%		0,1%		
12	84	1300,36	0,06	99,7%		0,3%		
		Média	0,19	DP	0,14	CV	71,24%	

Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 25 - Resistência de aderência de argamassas com 5 % de adição de fíler aplicadas em blocos queimados a 1000°C com hidrofugante

10 C ARG1								
CP	Carga (N)	Seção (mm²)	Tensão (MPa)	Formas de Ruptura: (%)				
				(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
1	132	1452,88	0,09	100,0%				
2	223	1463,03	0,15	100,0%				
3	319	1488,68	0,21	99,9%		0,1%		
4	237	1501,70	0,16	100,0%				
5	140	1551,79	0,09	100,0%				
6	699	1521,91	0,46	100,0%				
7	220	1514,09	0,15	100,0%				
8	310	1515,70	0,20	99,0%		1,0%		
9	217	1428,43	0,15	99,8%		0,2%		
10	166	1524,68	0,11	99,4%		0,6%		
11	296	1411,29	0,21	99,8%		0,2%		
12	180	1420,85	0,13	100,0%				
		Média	0,18	DP	0,10	CV	56,20%	

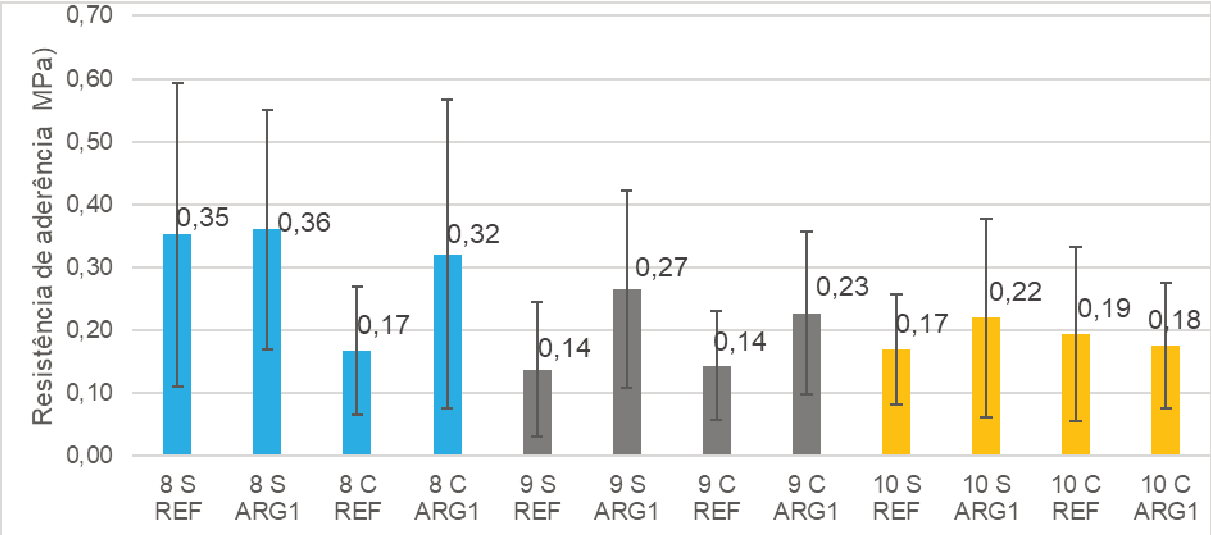
Nota: Forma de ruptura: (a) interface argamassa/substrato; (b) argamassa de revestimento; (c) substrato; (d) interface revestimento/cola; (e) interface cola/pastilha.

Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme demonstrado nas Tabelas, não foi observada uma forma predominante de ruptura nas argamassas, que se dividiu entre adesiva e coesiva. A ruptura adesiva ocorreu em quase metade das amostras, sendo que, desse total, 33,11 % romperam na interface argamassa/substrato e 4,86 % no substrato (foram consideradas as amostras com mais de 10% de ruptura no substrato nessa categoria, sendo que o maior percentual encontrado com esse tipo de ruptura foi de 74,8 % no sistema 8 C ARG1).

Na Figura 28 está o demonstrativo da média dos resultados de resistência de aderência à tração de cada um dos sistemas de revestimento do estudo, assim como o desvio padrão de cada sistema de revestimento.

Figura 28 – Resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento



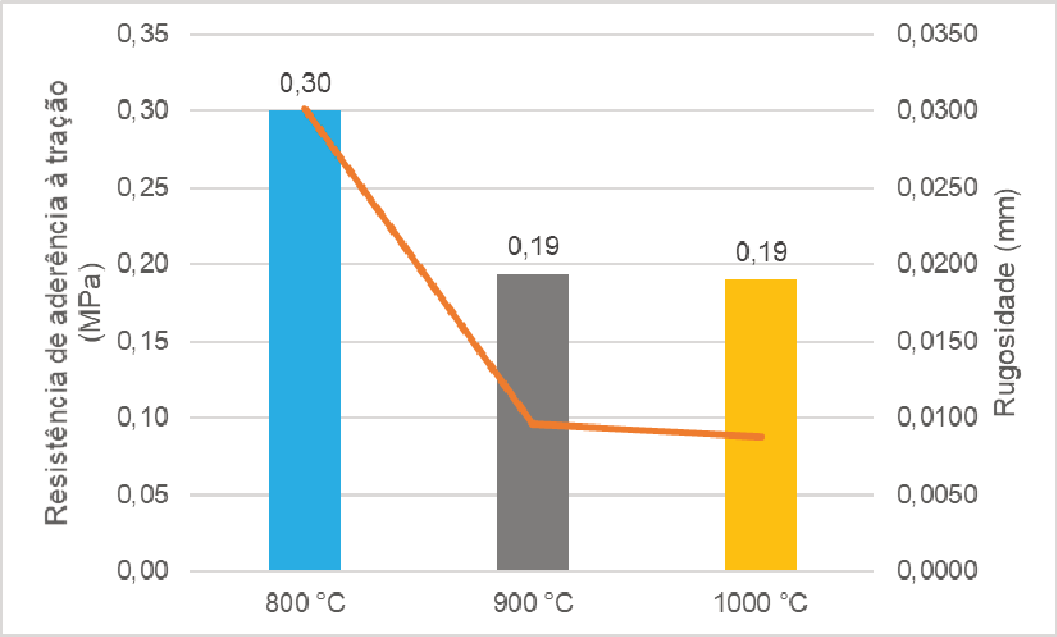
Fonte: Elaborada pela autora.

Nos itens seguintes serão avaliados individualmente os fatores que influenciaram a resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento avaliados.

4.3.1.1 Influência das Características do Substrato

Na Figura 29 é visualizada a relação entre a resistência de aderência à tração dos conjuntos e a rugosidade das peças cerâmicas com diferentes temperaturas de queima.

Figura 29 – Média dos resultados de resistência de aderência à tração e rugosidade das peças cerâmicas de acordo com a temperatura de queima



Fonte: Elaborada pela autora.

Os revestimentos de argamassa aplicados sobre os substratos queimados na temperatura de 800°C apresentam resultados de resistência de aderência à tração cerca de 60% superiores aos demais substratos, independentemente da adoção de tratamento superficial com hidrofugante, conforme a Figura 29, onde consta a média das resistências de aderência à tração dos conjuntos e também a rugosidade das peças cerâmicas de acordo com a temperatura de queima. Os substratos queimados nas temperaturas de 900°C e 1000°C possuem resultados médios de resistência de aderência similares.

Nessa primeira análise estão englobados todos os resultados obtidos para cada temperatura de queima, sem distinção de outras propriedades como a absorção de água, a capilaridade, o preparo de superfície por aplicação de hidrofugante e o tipo de argamassa aplicado sobre os substratos cerâmicos.

A maior resistência de aderência das argamassas sobre as cerâmicas queimadas a 800°C pode ser associada com os resultados de rugosidade superficial dos blocos cerâmicos de 800°C, que se mostraram consideravelmente superiores aos resultados de rugosidade nas temperaturas de 900°C e 1000°C, fazendo com que o ângulo de contato gerado através da temperatura de queima de 800°C favoreça um maior intertravamento mecânico.

Os resultados de resistência de aderência à tração nos conjuntos em relação às diferentes temperaturas foram analisados através da análise de variância (ANOVA), que se encontra na Tabela 26, considerando o efeito isolado da temperatura sobre os resultados.

Tabela 26 - Análise de variância (ANOVA) da resistência de aderência à tração dos conjuntos sobre as diferentes temperaturas de queima dos substratos

Fonte da variação	*SQ*	*gl*	*MQ*	*F*	*F crítico*	*Valor de P*	*Efeito Significativo*
Temperatura de queima	0,37616	2	0,18808	7,34392	3,06029	0,000924683	S
Erro	3,61103	141	0,02561				

Onde: SQ = Soma Quadrada; gl = grau de liberdade; MQ = Média Quadrada; Valor de P - Valor de Prova

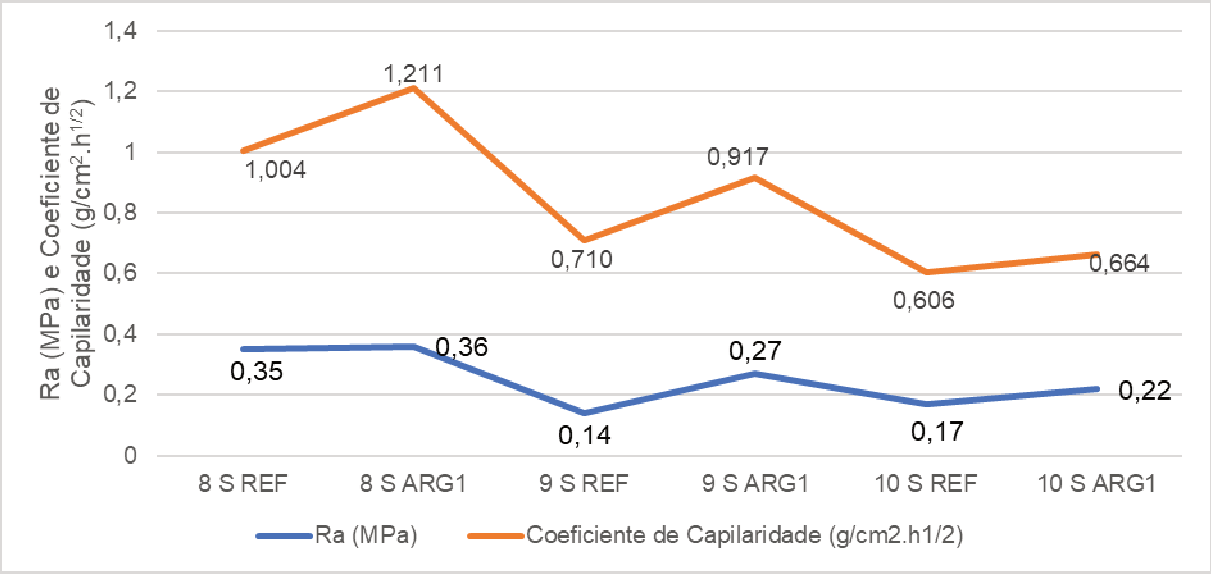
Fonte: Elaborada pela autora.

O resultado da análise de variância apresenta, para um nível de confiança de 95%, efeito significativo (valor de P inferior a 0,05), indicando que não existe igualdade entre os resultados de resistência de aderência à tração nas diferentes temperaturas de queima do substrato.

Outro fator que influencia os resultados de resistência de aderência nas peças com temperatura de queima de 800°C é o coeficiente de capilaridade, superior às demais temperaturas, permitindo a movimentação de água da argamassa para o substrato através da sucção, promovendo aderência mecânica e possível diminuição da zona de transição. (CARASEK, 1996; DETRICHÉ; MASO, 1986).

A Figura 30 foi elaborada de modo a correlacionar os resultados de coeficiente de capilaridade dos substratos cerâmicos com os respectivos resultados de resistência de aderência à tração dos conjuntos. Ressalta-se que estão apresentados apenas os resultados dos ensaios nos conjuntos sobre os quais não foi aplicado hidrofugante, já que nas peças hidrofugadas se considerou o coeficiente de capilaridade nulo, conforme mencionado no Capítulo 3.

Figura 30 – Coeficiente de capilaridade das peças cerâmicas e resistência de aderência à tração dos conjuntos

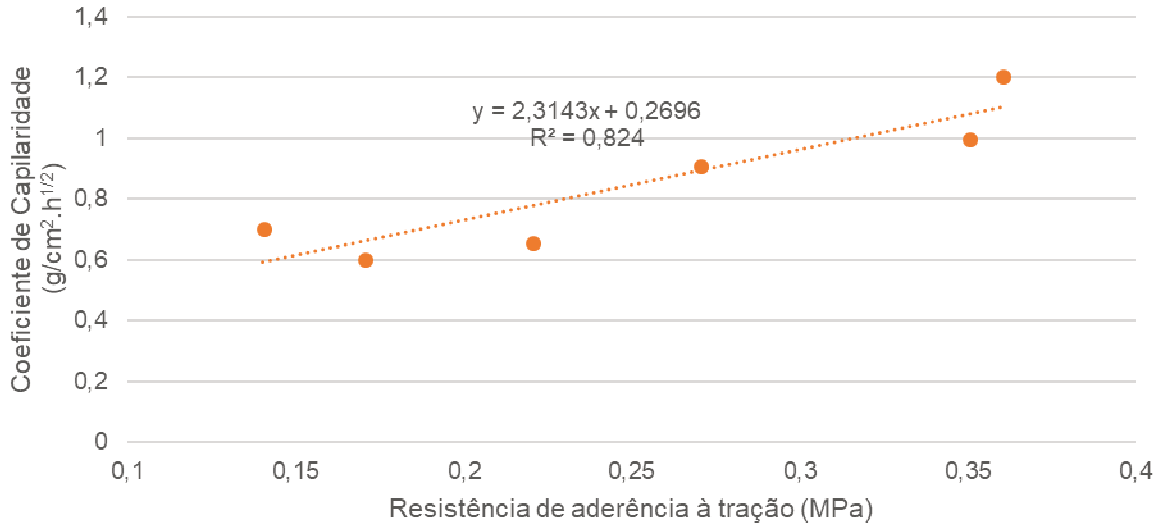


Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se que o coeficiente de capilaridade do substrato aparenta possuir uma relação diretamente proporcional com a resistência de aderência, independentemente do tipo de argamassa utilizado, e que o mesmo comportamento ocorre em função do coeficiente de rugosidade (Ra).

A tendência de comportamento da resistência de aderência à tração com o respectivo coeficiente de capilaridade das peças cerâmicas em cada conjunto é visualizado na Figura 31, que expõe a forte relação entre os fatores citados.

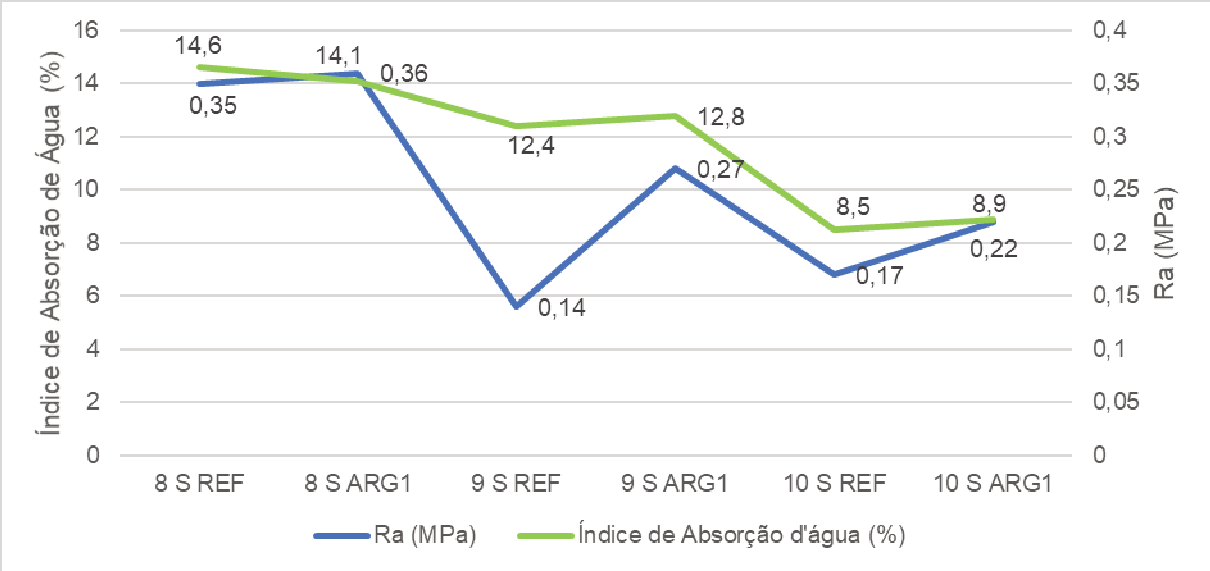
Figura 31 – Relação de tendência de comportamento entre o coeficiente de capilaridade e a resistência de aderência à tração



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 32 correlaciona os resultados de índice de absorção de água dos substratos e a respectiva resistência de aderência à tração dos conjuntos.

Figura 32 – Índice de absorção de água das peças cerâmicas e resistência de aderência à tração dos conjuntos

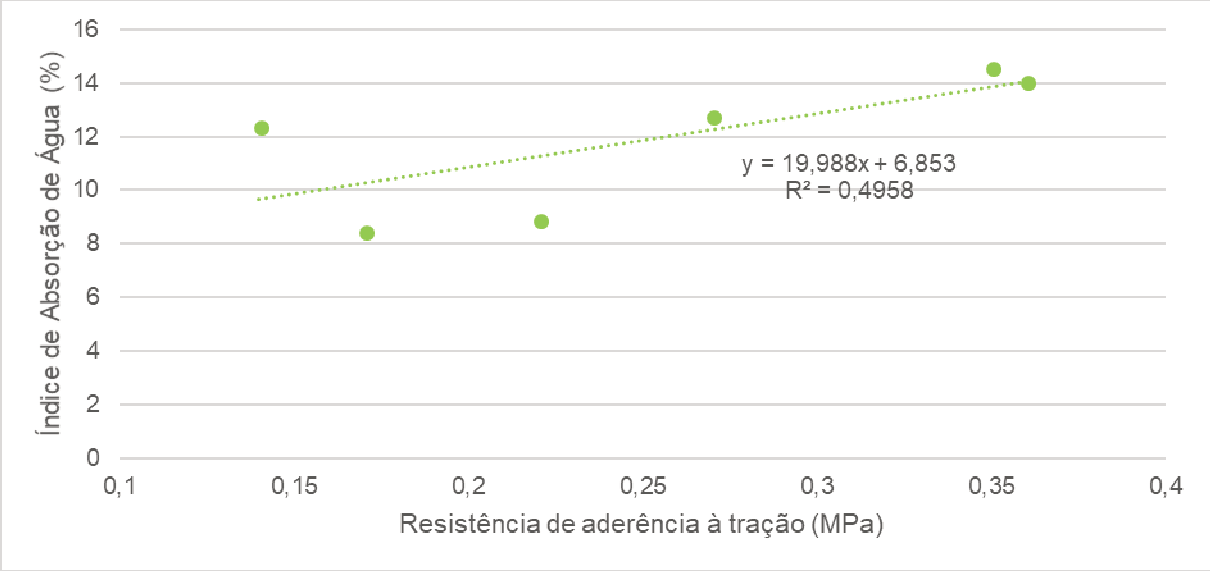


Fonte: Elaborada pela autora.

Observa-se que o índice de absorção de água e a resistência de aderência aparentam um comportamento similar (com exceção da argamassa 9 S REF). No entanto, conforme demonstrado na Figura 33, a linha de tendência de

comportamento entre o índice de absorção de água das peças cerâmicas e a resistência de aderência à tração dos conjuntos apresenta um coeficiente de determinação baixo (inferior a 50%) e uma declividade igualmente baixa, o que indica pequena correlação entre o coeficiente de capilaridade das peças e a resistência de aderência.

Figura 33 – Relação de tendência de comportamento entre índice de absorção de água e resistência de aderência à tração

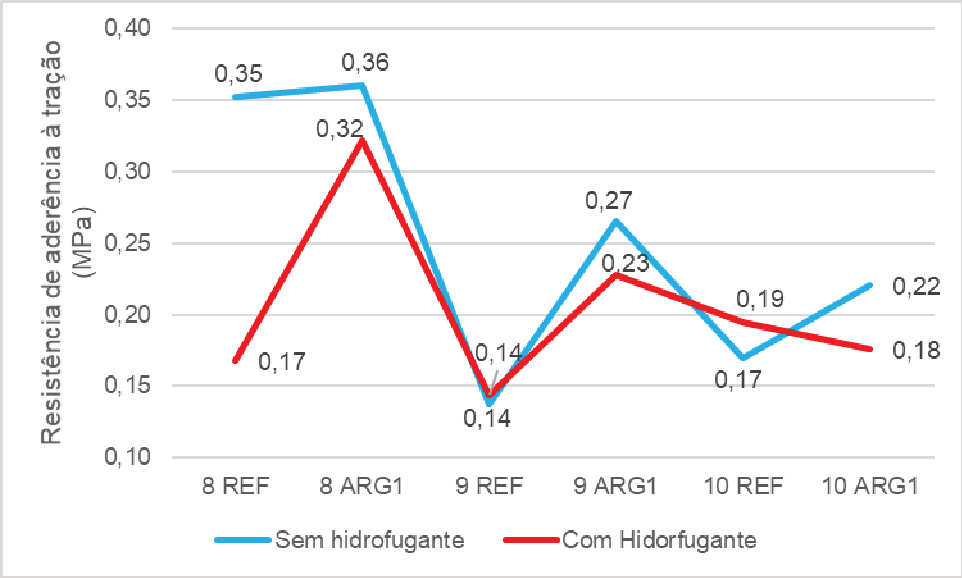


Fonte: Elaborada pela autora.

Verifica-se através das Figuras 30 e 32 que tanto o coeficiente de capilaridade como o índice de absorção de água foram maiores nas peças cerâmicas queimadas a 800°C, seguido pelas peças cerâmicas de 900°C e, por fim, as de 1000°C, e estes dois fatores se refletem na resistência de aderência à tração dos conjuntos.

Na Figura 34 pode-se observar as variações de resistência de aderência à tração das argamassas em função do uso de substrato sem e com aplicação de hidrofugante.

Figura 34 – Comparação dos resultados de resistência de aderência à tração dos conjuntos realizados sem e com hidrofugante



Fonte: Elaborada pela autora.

A resistência de aderência nos substratos com aplicação de hidrofugante aparenta ser similar à obtida em substratos sem hidrofugante na maioria dos conjuntos, com exceção dos conjuntos 8 S REF e 8 C REF (indicados na Figura 34 como 8 REF), onde a queda de resistência de aderência à tração pelo uso de hidrofugante é expressiva, na ordem de 51%.

O comportamento dos exemplares com hidrofugante não é o esperado, uma vez que nos exemplares onde é aplicado o hidrofugante o coeficiente de capilaridade apresenta uma redução média de 95,5%, o que resulta em valores de absorção quase nulos, e a hipótese inicial era de uma diminuição na resistência de aderência.

É observada uma tendência de queda na resistência de aderência em função da temperatura de queima do substrato (800ºC > 900ºC > 1000ºC) e alteração em função do tipo de argamassa (ARG1 > REF), o que indica que nestes exemplares existem outros fatores, relacionados ao substrato e à argamassa, como a rugosidade e a adição de fíler, que determinaram os resultados de resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento.

Os conjuntos com aplicação de hidrofugante foram os que mais apresentaram a ruptura coesiva do substrato, destacando-se os conjuntos 8 C ARG1, seguido pelo

conjunto 8 C REF, conforme pode ser verificado nas Figuras D 3 e D 4 do Apêndice D.

Os resultados de resistência de aderência à tração nos conjuntos em relação ao uso de hidrofugante nas peças cerâmicas foram analisados através da análise de variância (ANOVA), que se encontra na Tabela 27, considerando o efeito isolado do uso de hidrofugante sobre os resultados.

Tabela 27 - Análise de variância (ANOVA) da resistência de aderência à tração dos conjuntos sobre o uso de hidrofugante nos substratos

Fonte da variação	*SQ*	*gl*	*MQ*	*F*	*F crítico*	*Valor de P*	*Efeito Significativo*
Uso de hidrofugante	0,07572	1	0,07572	2,74882	3,90778	0,0995335	N
Erro	3,91147	142	0,02755				

Onde: SQ = Soma Quadrada; gl = grau de liberdade; MQ = Média Quadrada; Valor de P - Valor de Prova

Fonte: Elaborada pela autora.

A análise de variância apresenta, para um nível de confiança de 95%, efeito não significativo (valor de P superior a 0,05), indicando que não existe diferença significativa entre os resultados de resistência de aderência à tração em relação ao uso ou não de hidrofugante nas peças cerâmicas.

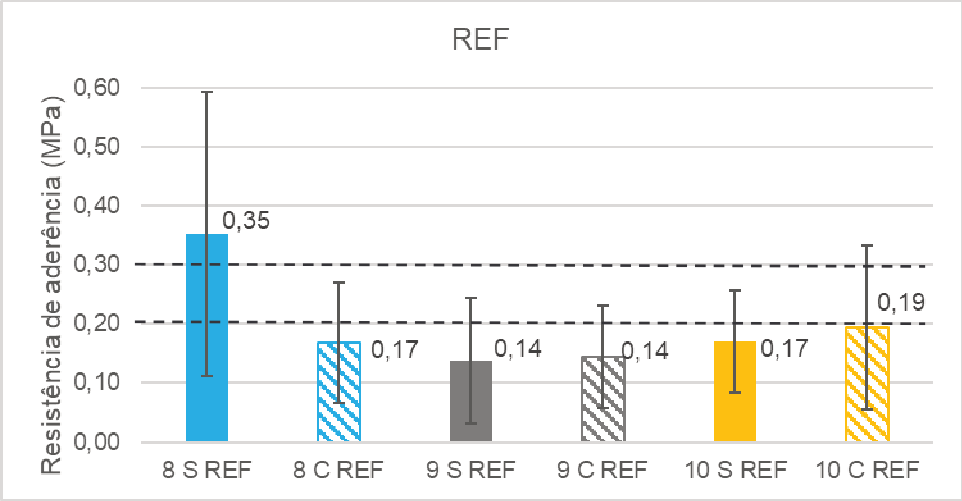
4.3.1.2 Influência da Adição de Fíler

De modo geral, a adição de 5% de fíler nas argamassas gera maior resistência de aderência em comparação com a argamassa referência, com exceção do conjunto com substrato com temperatura de queima de 1000°C e com aplicação de hidrofugante. O fato da argamassa com adição de fíler atingir maior resistência de aderência nos conjuntos provavelmente se deve ao fato destes finos aumentarem a área de contato entre a argamassa e o substrato, em coerência com o afirmado por Costa, Cardoso e John (2016).

Os conjuntos 8 C REF, 9 S REF, 9 C REF, 10 S REF, 10 C REF e 10 C ARG1 apresentam resistência a tração inferior ao limite mínimo de resistência de aderência à tração (Ra) especificado por norma para paredes internas, que é de 0,20 MPa. A maioria dos conjuntos que não atingiram o mínimo estipulado ocorre com a argamassa de referência, o que pode ser verificado através da Figura 35, que

demonstra que a adição de fíler aumenta a resistência a tração do sistema de revestimento.

Figura 35 – Resistência de aderência à tração nos conjuntos com argamassas de referência



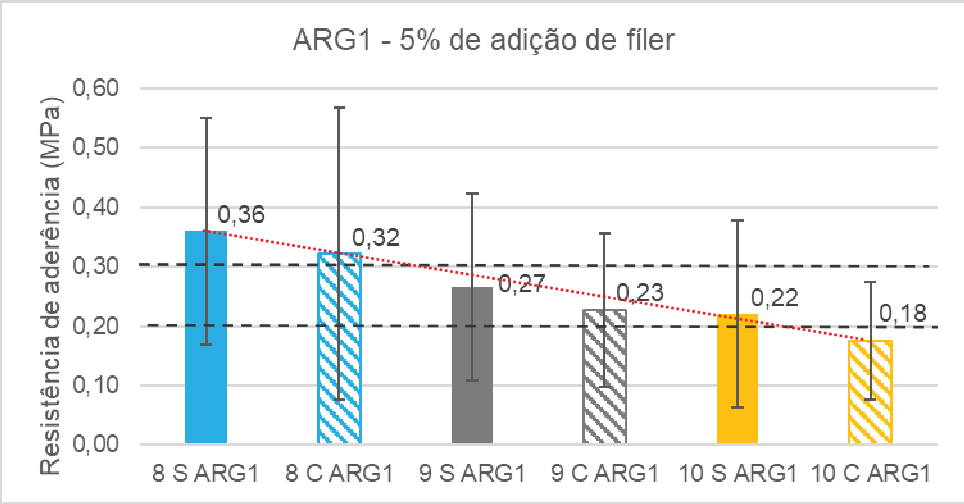
Fonte: Elaborada pela autora.

Com a adição do fíler é possível notar acréscimo de resistência de aderência à tração em praticamente todos os conjuntos, em relação aos conjuntos realizados com a mesma argamassa sem fíler. Um dos fatores que pode estar relacionado a isso é o fato da argamassa com adição de fíler possuir maior trabalhabilidade, que pode ser verificada no ensaio de Squeeze-flow aos 15 minutos com velocidade de 3 mm/s. Estima-se que o acréscimo de trabalhabilidade propicia melhor espalhamento e mais área de contato entre as superfícies do substrato e da argamassa.

Na Figura 36, nota-se que as maiores resistências de aderência ocorrem nas peças cerâmicas queimadas a 800°C, seguidas pelas de 900°C e por fim as de 1000°C, com 23% de redução média da resistência de uma temperatura para outra.

A adição de fíler altera a resistência de aderência das argamassas (em relação à argamassa sem fíler) evidenciando a influência das diferenças entre os três tipos de substratos utilizados e também a influência da aplicação do hidrofugante sobre os substratos.

Figura 36 – Resistência de aderência à tração nos conjuntos com argamassas com adição de fíler



Fonte: Elaborada pela autora.

Os resultados de resistência de aderência à tração nos conjuntos considerando o efeito isolado da utilização de fíler nas argamassas foram analisados através da análise de variância (ANOVA), que se encontra na Tabela 28.

Tabela 28 – Análise de variância (ANOVA) da resistência de aderência à tração dos conjuntos sobre a utilização de fíler nas argamassas

Fonte da variação	*SQ*	*gl*	*MQ*	*F*	*F crítico*	*Valor de P*	*Efeito Significativo*
Uso de fíler	0,16355	1	0,16355	6,07397	3,90778	0,0149121	S
Erro	3,82363	142	0,02693				

Onde: SQ = Soma Quadrada; gl = grau de liberdade; MQ = Média Quadrada; Valor de P - Valor de Prova

Fonte: Elaborada pela autora.

A análise de variância apresentou, para um nível de confiança de 95%, efeito significativo (valor de P inferior a 0,05), indicando que existe diferença significativa entre os resultados de resistência de aderência à tração em relação ao uso ou não de fíler nas argamassas.

Entretanto, deve-se levar em consideração que apesar da aleatorização dos substratos os blocos que receberam a argamassa com 5% de adição de fíler pertencem ao grupo dos substratos com maiores valores de absorção de água por capilaridade, o que pode em parte justificar os maiores resultados de resistência de aderência à tração nestes conjuntos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais deste trabalho, conforme os objetivos propostos.

A partir dos resultados encontrados observa-se que a maior resistência de aderência à tração é encontrada nos blocos cerâmicos com temperatura de queima de 800°C, que apresentam simultaneamente maior rugosidade e maior absorção capilar de água.

Observa-se que a adição de fíler à argamassa aumenta a resistência de aderência quando aplicada sobre os blocos de maior rugosidade, não sendo observado o mesmo comportamento nos blocos de baixa rugosidade.

De um modo geral, o uso de hidrofugante sobre as peças cerâmicas diminui a resistência de aderência, além de alterar a forma de ruptura dos revestimentos.

Nos itens seguintes estes comportamentos serão discutidos de modo mais aprofundado.

Com relação a influência das características do substrato:

Os revestimentos de argamassa aplicados sobre os substratos queimados na temperatura de 800°C apresentam resultados de resistência de aderência à tração cerca de 57,9% superiores aos demais substratos, independentemente da adoção de tratamento superficial com hidrofugante. Nos revestimentos sobre os blocos queimados nas temperaturas de 900°C e 1000°C os resultados médios de resistência de aderência são similares.

A maior resistência de aderência ocorre nas argamassas aplicadas sobre as cerâmicas queimadas a 800°C, o que pode ser associado a dois fatores: a rugosidade superficial dos blocos cerâmicos de 800°C, que se mostra significativamente superior aos demais, e o seu coeficiente de capilaridade, que também é superior ao dos demais substratos.

Os coeficientes de capilaridade dos substratos são maiores nas peças cerâmicas com a argamassa com 5% de adição de fíler, o que justifica parcialmente os maiores resultados de resistência de aderência à tração nestes conjuntos, com aumento médio de 41,7%.

A aplicação de hidrofugante altera a absorção de água por capilaridade dos substratos, reduzindo 99,8% para a temperatura de queima de 800°C, 88,0% para a temperatura de queima de 900°C e 98,7% para os substratos com temperatura de queima de 1000°C, gerando a redução média de 95,5% em relação ao valor inicial. A pequena queda da eficiência do hidrofugante aplicado nas peças cerâmicas com temperatura de queima de 900°C em relação aos demais (cerca de 3% menor) possivelmente é decorrente de alguma deficiência na aplicação do hidrofugante ou relacionada ao processo de queima destes substratos, mas não altera de modo expressivo o comportamento esperado para o substrato.

A alteração da taxa de absorção de água por capilaridade, em função do uso de hidrofugante, não altera significativamente a resistência de aderência à tração dos conjuntos em relação aqueles onde não se utilizou hidrofugante. Sendo assim, fica evidenciada a importância das características de superfície do substrato na aderência com a argamassa.

Outro aspecto identificado como consequência do uso de hidrofugante é que a queda de absorção de água por capilaridade do substrato resulta em aumento no teor de umidade das argamassas aplicadas sobre esses substratos.

Com relação a influência da adição de fíler:

De modo geral, a adição de 5% de fíler nas argamassas gera resultados melhores de aderência em comparação com a argamassa referência. O único conjunto que apresentou resultado inferior aos conjuntos com a argamassa de referência foi o substrato com a temperatura de queima de 1000°C com aplicação de hidrofugante. O fato da argamassa com adição de fíler atingir melhores resultados de resistência de aderência dos conjuntos provavelmente se deve ao fato destes finos aumentarem a extensão de contato entre a argamassa e o substrato.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

No desenvolvimento deste trabalho surgiram outras oportunidades de pesquisas que podem contribuir em outras análises com propósitos similares. Sendo assim, abaixo constam as sugestões para trabalhos futuros:

a) aprimorar o método de avaliação de rugosidade de substratos;

b) aperfeiçoar a forma de aplicação da argamassa nos substratos de modo que os coeficientes de variação dos resultados de resistência de aderência sejam menores;
c) avaliar a interface de contato entre substrato e argamassa de revestimento com Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) por Elétrons Secundários (ES) para verificar o comportamento e extensão de aderência perante diferentes rugosidades e porosidades dos substratos.

REFERÊNCIAS

AL-NADDAF, M. A new automatic method for continuous measurement of the capillary water absorption of building materials. **Construction and Building Materials**. v.160, p. 639-643, 2018.

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: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC/POLI-USP, p. 401-416, 2003.

ARNOLD, D. C. M.; KAZMIERCZAK, C. S. Influência da distribuição granulométrica do agregado miúdo e do teor de fíler nas propriedades das argamassas com areia de britagem. In: VIII SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba-PR, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (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, 2005c.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas: determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13529**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas: terminologia. Rio de Janeiro, 2013a.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos: determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005e.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos: blocos cerâmicos e tijolos para alvenaria: parte 2: métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais: Desempenho Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas: SVVIE. Rio de Janeiro, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15630**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15785**: Misturas asfálticas a quente: utilização da aparelhagem Marshall para preparação dos corpos-de-prova com diferentes dimensões e aplicações. Rio de Janeiro, 2010b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15839**: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos: caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010c.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2013d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS): rugosidade: método do perfil – termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 4288**: Especificações geométricas de produto (GPS): rugosidade: método do perfil – regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. Rio de Janeiro, 2008b.

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

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

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

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

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

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substrato porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** 1996. 285f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1996.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. (Org.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010, v. 2, p. 885-936.

CARVALHO JUNIOR, A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. 2005. 306 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CHASE, G. W. Investigation of interface between brick and mortar. **TMS jornal,** v. 3, n. 2, T1-T9, 1984.

CINCOTTO, M. A. Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações. In: **Tecnologia de edificações.** São Paulo: Pini, 1988. p. 549-554.

COSTA, E. B. C. **Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias.** São Paulo, 2014. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

COSTA, E. B. C.; JOHN, V. M. Efeito da absorção do substrato na aderência. In: X SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2013, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2013.

COSTA, E. B. C.; KUROKAWA, F. A.; JOHN, V. M. Modelagem simplificada para estimativa do potencial de penetração de partículas em substratos porosos. **Ambiente Construído,** Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 25-34, jan./mar. 2013.

COSTA, E. B. C; CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M. Efeito do teor e da dispersão de fino calcário na aderência substrato-matriz cimentícia. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 21-34, abr./jun. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ac/v16n2/1678-8621-ac-16-02-0021.pdf>. Acesso em: 15 out. 2016.

COURARD, L. NÉLIS, M. Surface analysis of mineral substrates for repair Works: roughness evaluation by perfilometry and surfometry analysis. **Magazine of Concrete Research,** v. 55, n. 4, p. 355-366, 2003.

CULTRONE, G.; SEBASTIÁN, E; ELERT, K; TORRE, M. J. DE LA; CAZALLA, O.; RODRIGUES-NAVARRO, C. Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. **Journal of the European Ceramic Society,** mar. 2004, v. 24, n. 3, p. 547-564.

DAVISON, J. I. Loss of moisture from fresh mortars to brick. **Materials, Research & Standards.** Philadelphia: p. 385-388, May 1961.

DERLUYN, H.; JANSSEN, H.; CARMELIET, J. Influence of the nature of interfaces on the capillary transport in layered materials. **Construction and Building Materials, v. 25,** p. 3685–3693, 2011.

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

ERHART, R. L. **Influência da porosidade e rugosidade de substrato cerâmico na aderência de revestimento argamassado com emprego de cinza de casca de arroz no chapisco**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, São Leopoldo, RS.

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

FERNANDES, H. C.; COSTA, E. B. C.; ARA, A. B.; CAMPORA, F. L.; JOHN, V. M. Influência da forma de aplicação e da reologia da argamassa nas propriedades mecânicas dos revestimentos. In: VIII SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba-PR, 2009.

FRANÇA, M. S.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Influência do tempo de mistura nas propriedades reológicas de argamassas. In: IX SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte-MG, 2011.

GARBACZ, A. COURARD, L. KOSTANA, K. Characterization of concrete surface roughness and its relation to adhesion in repais systems. **Materials Caracterization,** v. 56, n. 4, p. 281-289, 2006.

GONÇALVES, S. R. de C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – Estudo de caso.** 2004. 148f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa e Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

GRANDET, J. Physico-chemical mechanisms of the bond between baked clay and cement. In: International Brick Masonry Conference, 3. 1973, **Proceedings...** Germany: Essen. p. 217-221, 1973.

HONÓRIO, T.; CARASEK, H. Métodos para avaliação da absorção de água do substrato. In: VIII SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba-PR, 2009.

KAZMIERCZAK, C. S.; ARNOLD, D. C. M. Influência da forma dos grãos e do teor de fíler na trabalhabilidade de argamassas de revestimento. In: 4° Congresso Português de Argamassas e ETICS – Sob a égide da inovação, 2012, Coimbra. 4° Congresso Português de Argamassas e ETICS, 2012.

KAZMIERCZAK, C. S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATO, D. Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. **Estudos Técnológicos,** v. 3, n. 1, p. 47-58, jan./jun. 2007.

KHALAF, F. M.; WILSON, J. G. Strength assessment of clay bricks using porosity dependente techniques. **The Masonry Society Journal.** v. 17, n.1, 1999. p. 9-19.

KLEIN, N. S.; BACHMANN, J.; AGUADO, A.; TORALLES-CARBONARI, B. Evaluation of the wettability of mortar componente granular materials through contact angle measurements. **Cement and Concrete Reasearch,** v. 42, n. 12, p. 1611-1620, 2012.

KOPSHITZ, P.; FRANCINETE Jr.; P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, V. M. Estudo da retração e do desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas para revestimento. In: II SBTA. Salvador, 1997. **Anais...** Salvador – BA, 1997, p. 120-132.

LANGE, D. A.; DEFORD, H. D.; ALMED, A. Microstructure and mechanisms of bond in masonry. In: North American Masonry Conference, 7., 1996, Indiana. **Proceedings...** University of Notre Dame, South Bend, Indiana, EUA, p. 167-174, 1996.

LANGE, D. A.; DEFORD, H. D.; WERNER, A. M. Microstructural investigation of mortar/unit interaction. **Journal of the Masonry Society**, v. 17, p. 31-42, 1999.

LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. Microstructure of the interface between brick and mortar. In: International brick and mortar. In: International brick/block masonry conference, 8., 1988, Dublin. **Proceedings...** Dublin: Elsevier Applied Science. v.1, p. 194-204, 1988.

LU, G; LU, G. Q. M.; XIAO, Z. M. Mechanical properties of porous materials. **Journal of Porous Materials,** v. 6, n. 4, p. 359-368, 1999.

MALLIDI, S. R. Application of Mercury intrusion porosimetry on clay bricks to assess freeze-thaw durability – a bibliography with abstracts. **Construction and building materials,** v. 10, n. 6, p. 461-465, 1996.

MARSHALL, S. J.; BAYNE, S. C.; BAIER, R.; TOMSIA, A.; MARSHALL, G. W. A review of adhesion science. **Dental materials,** v. 26, n. 2, p. e11-e16, 2010.

MEZGHANI, S.; ZAHOUANI, H. Characterisation of the 3D waviness and roughness motifs. **Wear,** v. 257, n. 12, p. 1250-1256, 2004.

MIRANDA, L. F. R.; SELMO, S. M. S. CDW recycled aggregate renderings: Part I – Analysis of the effect of materials finer than 75µm on mortar properties. **Construction and Building Materials,** v. 20, n. 9, p. 615-624, 2006.

MYSHKIN, N. K.; PETROKOVETS, M. I.; CHIZHIK, S. A. Simulation of real contact in tribology. **Tribology International,** v. 31, n. 1, p. 79-86, 1998.

MYSHKIN, N. L.; GRIGORIEV, A. Y.; CHIZHIK, S. A.; CHOI, K. Y.; PETROKOVETS, M. I. Surface roughness and texture analysis in microscale. **Wear,** v. 254, n. 10, p. 1001-1009, 2003.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação.** 2004. 242f. Tese (Doutora em Engenharia) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

PAGNUSSAT, D. T. **Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa.** Porto Alegre, 2013. 211f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2013.

PAGNUSSAT, D. T.; MASUERO, A. B. Avaliação da aderência de revestimentos de argamassa aplicados em substratos cerâmicos com diferentes condições superficiais. In: IX SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2011, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte-MG, 2011.

PALMER, L. A.; PARSONS, D. A. A study of the properties of mortars and bricks and their relation to bond. **Bureau of Standarts Journal of Research,** 1934, p. 609-644.

PHAN, V. T. **Relationship between the adhesive properties and the rheological behaviour of fresh mortars.** 2012. Tese de Doutorado. École normale supérieure de Cachan – ENS, France.

PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha, **Cerâmica 56**, 339 (2010) p. 237-243. Disponível em: < http://www.scielo.br/pdf/ce/v56n339/a0556339.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2018.

PULKER, H. K.; PERRY, A. J.; BERGER, R. Adhesion. **Surface Technology,** v. 14, n. 1, p. 25-39, 1981.

QUÉRÉ, D. Wetting and roughness. **Annual Review of Materials Research,** v. 38, p. 71-99, 2008.

REIS, D.; MACK-VERGARA, Y. L.; JOHN, V. Quantificação dos potenciais impactos ambientais da argamassa na etapa de produção e aplicação em obra: estudo ACV-m. In: XII SBTA – Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2017, São Paulo. **Anais...** São Paulo-SP, 2017.

RÉUNION INTERNATIONAL DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATÉRIAUX. **Determination of the Capillary Absorption of Water of Hardened Concrete: TC 116 PCD.** Materials and Structures / Materiaux et constructions, vol. 32, p. 178-179, Abr. 1999.

RÉUNION INTERNATIONAL DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATÉRIAUX. **MR 14**: recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials: determination of the bond of renderings by shear tests. Paris, 1982.

RÉUNION INTERNATIONAL DES LABORATOIRES D'ESSAIS ET MATÉRIAUX. **MR 20**: recommendations for the testing and use of constructions materials: determination of the bond strenght of rendering by torsion test. Paris, 1994.

RIVERA, M. H.; MELO, M. E. R. La rugosidad de las superfícies: Topometría. **Ingenierías,** v. 4, n. 11, p. 27-33, 2001.

SALES, A. T. C.; SÁ, B. R. C. de; SANTOS, D de G. Argamassas com substituição parcial do agregado miúdo por pó de mármore. **Anais do XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído,** Maceió - Al, Brasil, 2014.

SANTANA, L. N. de L.; SILVA, J.; GONÇALVES, W. P.; CARTAXO, J. M; LIRA, B. S.; SANTOS, R. C.; MENEZES, R. R. Influence of Firing Conditions on Properties of Red Ceramic, **Materials Science Forum**, Vols. 727-728, pp. 721-726, 2012. Disponível em: < https://www.scientific.net/MSF.727-728.721>. Acesso em: 20 jan. 2018.

SANTOS, P. M. D.; JÚLIO, E. N. B. S. A state-of-the-art review on roughness quantification methos for concrete surfaces. **Construction and Building Materials**, v. 27, p. 912-923, 2013.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos das argamassas. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2003. São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. p. 569-581.

SILVA, J.; DE BRITO, J.; VEIGA, R. Incorporation of fine ceramics in mortars. **Construction and Building Materials,** v. 23, n. 1, p. 556-564, 2009.

STALEY, H. R. A petrographic study of the bond between bricks and mortar. **Transactions of the British Ceramic Society,** v. 39, p. 85-100, 1940.

STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B. Analysis of main parameters affecting substrate-mortar contact área through tridimensional laser scanner. **Journal of Colloid and Interface Science,** v. 455, p. 16-23, 2015.

STOLZ, C. M.; MASUERO, A. B.; PAGNUSSAT, D. T.; KIRCHHEIM, A. P. Influence of substrate texture on the tensile and shear bond strength on rendering mortars. **Construction and Building Materials,** v. 128, p. 298-307, 2016.

THAMBOO, J. A.; DHANASEKAR, M. Characterisation of thin layer polymer cement mortared concrete masonry bond. **Construction and Building Materials,** v. 82, p. 71-80, 2015.

TYKHONIUK, R.; TOMASA, J.; LUDING, S.; KAPPLC, M.; HEIM, L.; BUTTC, H. Ultrafine cohesive powders: From interparticle contacts to continuum behaviou. **Chemical Engineering Science,** v. 62, n. 11, p. 2843-2864, 2007.

VALENTINI, P.; KAZMIERCZAK, C. S.; SCHÄFER, M. Avaliação da determinação da resistência de aderência à tração de argamassas de revestimento em ensaios laboratoriais. In: Congresso Brasileiro de Patologia das Construções, 2016, Belém do Pará. **Anais...** São Leopoldo: Casa Leiria, 2016. p. 437-447.

VOSS, W. C. Permeability of brick masonry walls – A hypothesis. In: **ASTM Proceedings.** 1933. p. 670p.

YANG, C.; PERSSON, B. N. J. Contact mechanics: contact área and interfacial separation from small contact to full contact. **Journal of Physics: Condensed Matter,** v. 20, n. 21, p. 215214, 2008.

ZAHOUANI, H. ASSOUL, M.; VARGIOLU, R.; MATHIA, T. The morphological tree transform of surface motifs. Incidence in tribology. **International Journal of Machine Tools and Manufacture,** v. 41, n. 13, p. 1961-1979, 2001.

APÊNDICE A – EFICIÊNCIA DE HIDROFUGANTES APLICADOS EM BLOCOS CERÂMICOS COM DIFERENTES TEMPERATURAS DE QUEIMA

Tabela A 1 – Absorção de água por capilaridade de peças cerâmicas com temperatura de queima de 800°C

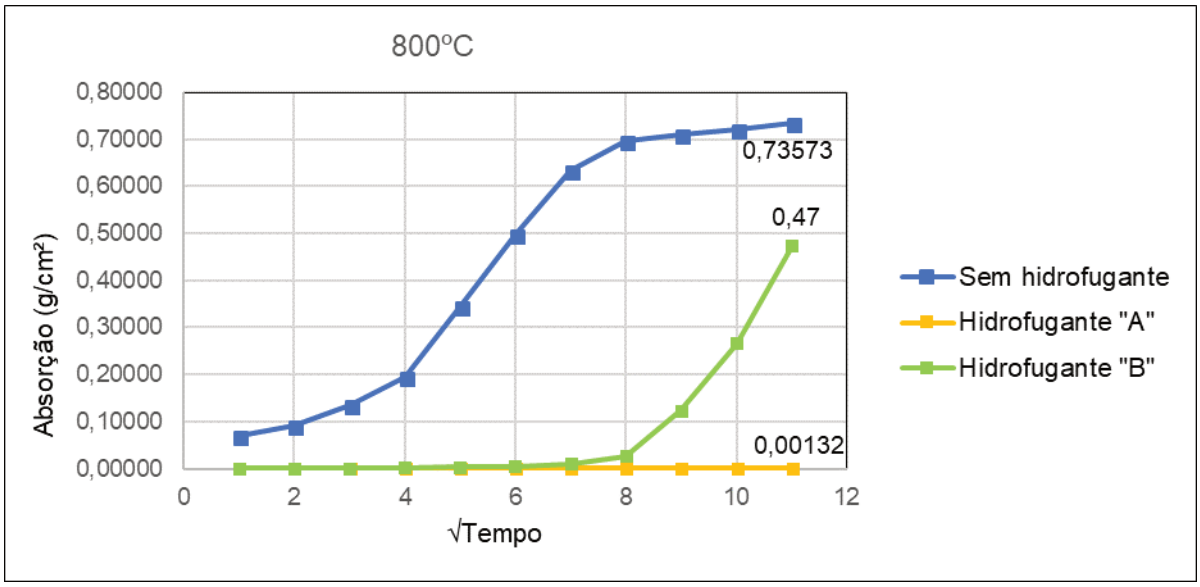


Tabela A 2 – Absorção de água por capilaridade de peças cerâmicas com temperatura de queima de 900°C

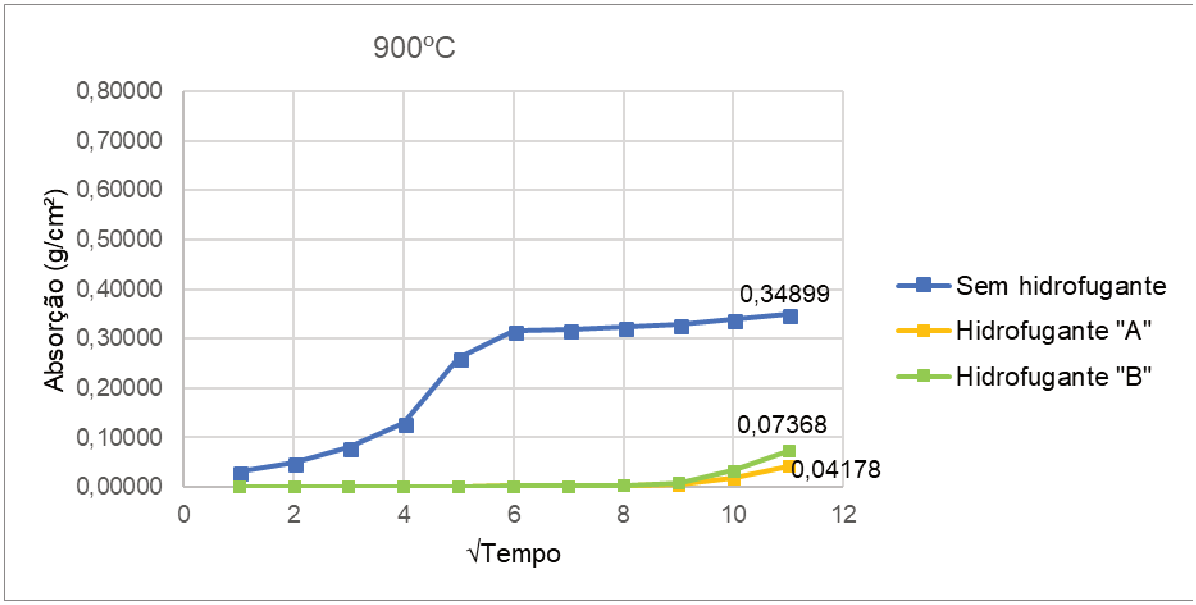
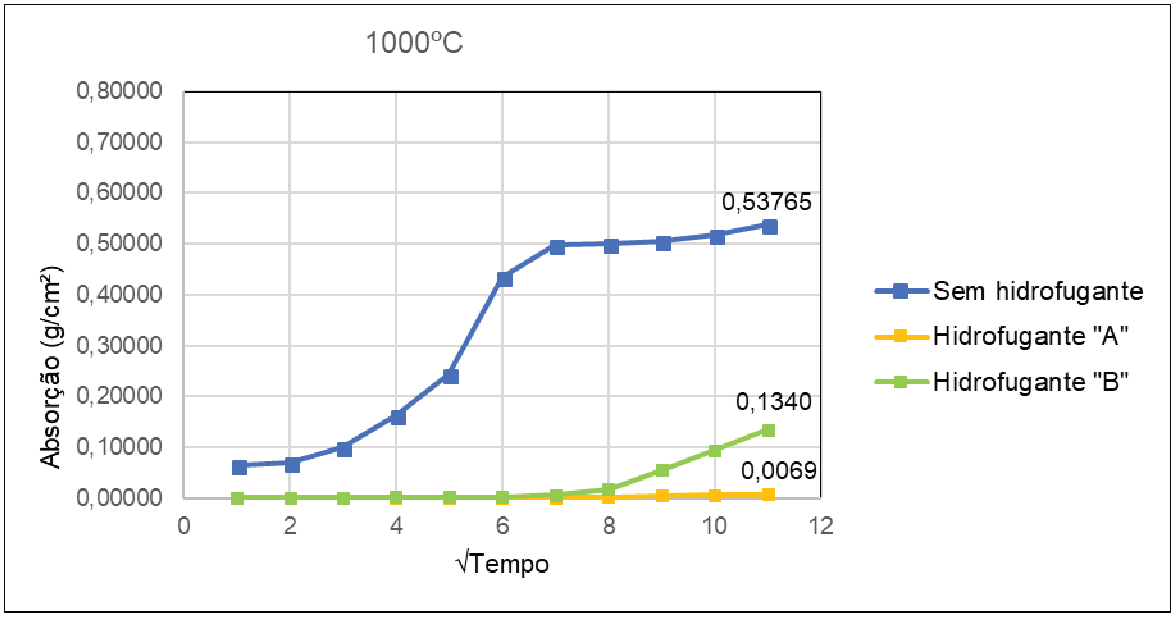


Tabela A 3 – Absorção de água por capilaridade de peças cerâmicas com temperatura de queima de 1000°C



APÊNDICE B – PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO ESTADO FRESCO

Tabela B 1 – Índice de consistência

	240 mm	REF	ARG1
Quantidade de cimento (g)	500	500	500
Quantidade de água (g)	230,0	230,0	230,0
Quantidade de aditivo (g)	0,0	0,8	1
Determinação 1 (mm)	237	264	
Determinação 2 (mm)	236	266	
Determinação 3 (mm)	238	265	
Média (mm)	237	265	

Tabela B 2 – Retenção de água

Argamassa	REF	ARG1
m_v (g)	596,3	597,3
m_a (g)	1793,9	1783,5
m_s (g)	1791,1	1779,1
m (g)	2000,0	2000,0
m_w (g)	230,56	230,70
AF	1,03E-01	1,03E-01
R_a (%)	98	96

Tabela B 3 – Teor de ar incorporado pressiométrico

REF	ARG1
11%	13%

Tabela B 4 – Densidade de massa aparente

	REF	ARG1
mc (g)	3120,6	3124,4
mv (g)	2215,9	2215,7
Vr (cm^3)	429,0	429,0
γs (g/cm^3)	2,11	2,12
γs (kg/m^3)	2109	2118

APÊNDICE C – PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO NO ESTADO ENDURECIDO

Tabela C 1 – Absorção de água por capilaridade

	REF			ARG1		
Corpo de Prova	1	2	3	1	2	3
m_0 (g)	533,6	538,2	537	546,8	549,6	544,7
m_{10} (g)	534,7	539,4	538,3	547,9	550,6	545,9
m_{90} (g)	535,9	540,7	539,7	549,1	551,80	547,2
A_{10} (g/cm²)	0,07	0,07	0,08	0,07	0,06	0,07
A_{90} (g/cm²)	0,14	0,15	0,17	0,14	0,13	0,15
Média A_{10} (g/cm²)		0,07			0,07	
Média A_{90} (g/cm²)		0,15			0,14	

Tabela C 2 – Coeficiente de capilaridade

	REF			ARG1		
Corpo de Prova	1	2	3	1	2	3
m_{10} (g)	534,7	539,4	538,3	547,9	550,6	545,9
m_{90} (g)	535,9	540,7	539,7	549,1	551,8	547,2
C (g/dm².min½)	1,2	1,3	1,4	1,2	1,2	1,3
Média do C (g/dm².min½)		1,3			1,2	
Desvio relativo máximo	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0	0,1
	7,7%	0,0%	-7,7%	2,7%	2,7%	5,4%

Tabela C 3 – Absorção de água total, índice de vazios e massa específica

	REF			ARG1		
Corpo de Prova	1	2	3	1	2	3
m_s (g)	512,7	515,1	516,1	526,1	527,2	523,8
m_{sat} (g)	555,1	558,0	559,4	568,7	570,4	566,4
m_i (g)	300,8	301,3	302,4	309,0	309,9	307,5
Absorção Total (%)	8,27	8,33	8,39	8,10	8,19	8,13
Índice de Vazios (%)	16,67	16,71	16,85	16,40	16,58	16,45
ρ_s da amostra seca (g/cm³)	2,02	2,01	2,01	2,03	2,02	2,02
ρ_s da amostra saturada (g/cm³)	2,18	2,17	2,18	2,19	2,19	2,19
ρ_s da amostra real (g/cm³)	2,42	2,41	2,42	2,42	2,43	2,42
Média Absorção Total (%)		8,33			8,14	
Média Índice de Vazios (%)		16,74			16,48	
Média ρ_s da amostra seca (g/cm³)		2,01			2,02	
Média ρ_s da amostra saturada (g/cm³)		2,18			2,19	
Média ρ_s da amostra real (g/cm³)		2,41			2,42	

Tabela C 4 – Resistência à tração na flexão

	REF			ARG1		
Corpo de Prova	1	2	3	1	2	3
F_f (N)	3132	2912	3068	2917	3014	3131
R_f (MPa)	7,34	6,83	7,19	6,84	7,06	7,34
Média R_f (MPa)		7,1			7,1	
Desvio absoluto máximo	-0,2	0,3	-0,1	0,2	0,0	-0,3

Tabela C 5 – Resistência à compressão

	Corpo de Prova	Fc (N)	Rc (MPa)	Média Rc (MPa)	Desvio absoluto máximo (MPa)
REF	1 - A	47276,4	30,50	30,2	-0,3
	1 - B	45233,5	30,30		-0,1
	2 - A	50684,1	29,70		0,5
	2 - B	48557,9	30,30		-0,1
	3 - A	52704,8	29,90		0,3
	3 - B	45794,5	30,60		-0,4
ARG 1	1 - A	50201,9	30,40	30,8	0,4
	1 - B	46066,5	30,90		-0,1
	2 - A	48770	30,50		0,3
	2 - B	47713	30,80		0,0
	3 - A	52744,3	31,00		-0,2
	3 - B	49974,8	31,20		-0,4

Tabela C 6 – Variação dimensional

	Dias	REF - CP 1	REF - CP 2	REF - CP 3	ARG1 - CP 1	ARG1 - CP 2	ARG1 - CP 3
L0 (mm) 16/11	0	1,302	0,813	0,630	4,660	1,412	4,523
L1 (mm) 17/11	1	1,263	0,775	0,591	4,620	1,368	4,488
L4 (mm) 20/11	4	1,195	0,701	0,516	4,556	1,282	4,424
L7 (mm) 23/11	7	1,127	0,631	0,464	4,491	1,216	4,361
L13 (mm) 29/11	13	1,104	0,611	0,430	4,476	1,194	4,345
L14 (mm) 30/11	14	1,099	0,604	0,424	4,470	1,192	4,339
L15 (mm) 01/12	15	1,096	0,594	0,416	4,467	1,182	4,332
L18 (mm) 04/12	18	1,092	0,594	0,416	4,463	1,181	4,332
L19 (mm) 05/12	19	1,083	0,593	0,416	4,460	1,175	4,332
L20 (mm) 06/12	20	1,082	0,587	0,409	4,455	1,174	4,323
L21 (mm) 07/12	21	1,082	0,586	0,407	4,452	1,174	4,321
L25 (mm) 11/12	25	1,081	0,586	0,407	4,452	1,174	4,321
L26 (mm) 12/12	26	1,081	0,566	0,407	4,452	1,174	4,321
L27 (mm) 13/12	27	1,071	0,565	0,394	4,452	1,168	4,320
L28 (mm) 14/12	28	1,071	0,565	0,394	4,451	1,168	4,316
	Dias	REF - CP 1	REF - CP 2	REF - CP 3	ARG1 - CP 1	ARG1 - CP 2	ARG1 - CP 3
ε_0 (mm/m)	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ε_1 (mm/m)	1	-0,16	-0,15	-0,16	-0,16	-0,18	-0,14
ε_7 (mm/m)	7	-0,70	-0,73	-0,66	-0,68	-0,78	-0,65
ε_{14} (mm/m)	14	-0,81	-0,84	-0,82	-0,76	-0,88	-0,74
ε_{21} (mm/m)	21	-0,88	-0,91	-0,89	-0,83	-0,95	-0,81
ε_{28} (mm/m)	28	-0,92	-0,99	-0,94	-0,84	-0,98	-0,83
Média CP		-0,69	-0,60	-0,58	-0,54	-0,63	-0,53
Média			-0,63			-0,57	

Tabela C 7 – Variação de massa

	Dias	REF - CP 1	REF - CP 2	REF - CP 3	ARG1 - CP 1	ARG1 - CP 2	ARG1 - CP 3
m0 (g) 16/11	0	386,38	390,36	397,32	390,00	390,15	389,07
m1 (g) 17/11	1	378,54	381,58	389,38	382,35	381,87	380,43
m4 (g) 20/11	4	374,81	378,24	385,97	378,64	378,01	376,64
m5 (g) 21/11	5	374,00	377,32	385,14	378,02	377,18	375,81
m7 (g) 23/11	7	372,38	375,59	383,63	376,41	375,67	374,18
m12 (g) 28/11	12	372,21	375,53	383,41	376,23	375,52	374,07
m13 (g) 29/11	13	371,95	375,06	382,96	375,96	375,13	373,77
m14 (g) 30/11	14	371,84	375,06	382,96	375,90	375,07	373,71
m15 (g) 01/12	15	371,63	374,91	382,77	375,88	374,90	373,55
m19 (g) 05/12	19	371,72	374,82	382,77	375,80	375,00	373,54
m20 (g) 06/12	20	371,63	374,81	382,77	375,75	374,88	373,44
m21 (g) 07/12	21	371,51	374,71	382,61	375,58	374,78	373,35
m25 (g) 11/12	25	371,27	374,68	382,40	375,44	374,45	373,09
m26 (g) 12/12	26	371,14	374,38	382,28	375,21	374,26	373,06
m27 (g) 13/12	27	371,12	374,30	382,19	375,20	374,26	373,04
m28 (g) 14/12	28	371,12	374,30	382,18	375,14	374,24	373,04
	Dias	REF - CP 1	REF - CP 2	REF - CP 3	ARG1 - CP 1	ARG1 - CP 2	ARG1 - CP 3
Δm_0 (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Δm_1 (%)	1	-2,0	-2,2	-2,0	-2,0	-2,1	-2,2
Δm_7 (%)	7	-3,6	-3,8	-3,4	-3,5	-3,7	-3,8
Δm_{14} (%)	14	-3,8	-3,9	-3,6	-3,6	-3,9	-3,9
Δm_{21} (%)	21	-3,8	-4,0	-3,7	-3,7	-3,9	-4,0
Δm_{28} (%)	28	-3,9	-4,1	-3,8	-3,8	-4,1	-4,1
Média CP		-2,9	-3,0	-2,8	-2,8	-3,0	-3,0
Média				-2,9			-2,9

Tabela C 8 – Densidade de massa

REF	Lado A/D:		Lado B:		Lado C:	
CP1	159,6	159,4	40,2	40,2	41,2	41,2
	159,7		40,2		41,2	
	159,2		40,2		41,3	
	159,4			264437	(mm³)	
	159,4		Volume:	264,44	(cm³)	
	159,2			0,000264	(m³)	
m1 =	(g) 535,7	(kg) 0,5	m/v:		2026	(kg/m³)
REF	Lado A/D:		Lado B:		Lado C:	
CP2	159,2	159,2	40,1	40,1	41,2	41,1
	159,3		40,1		41,1	
	159,1		40,1		41,0	
	159,4			262649	(mm³)	
	159,1		Volume:	262,65	(cm³)	
	159,0			0,000263	(m³)	
m2 =	(g) 538,5	(kg) 0,5	m/v:		2050	(kg/m³)
REF	Lado A/D:		Lado B:		Lado C:	
CP3	159,4	159,4	41,4	41,2	40,3	40,2
	159,5		40,8		40,1	
	159,4		41,2		40,1	
	159,3			263367	(mm³)	
	159,4		Volume:	263,37	(cm³)	
	159,4			0,000263	(m³)	
m3=	(g) 537,1	(kg) 0,5	m/v:		2039	(kg/m³)
Média Densidade de Massa REF					2038	(kg/m³)
ARG1	Lado A/D:		Lado B:		Lado C:	
CP1	159,0	158,9	40,6	40,4	40,0	40,0
	159,0		40,1		40,0	
	158,7		40,5		40,0	
	159,0			256724	(mm³)	
	158,8		Volume:	256,72	(cm³)	
	158,7			0,000257	(m³)	
m1 =	(g) 533,7	(kg) 0,5	m/v:		2079	(kg/m³)
ARG1	Lado A/D:		Lado B:		Lado C:	
CP2	159,4	159,4	41,2	41,1	40,3	40,2
	159,4		41,1		40,3	

	159,8		41,0		40,2	
	159,1			263699	(mm³)	
	159,2		Volume:	263,70	(cm³)	
	159,2			0,000264	(m³)	
	(g)	(kg)				
m2=	536,5	0,5		m/v:	2035	(kg/m³)
ARG1	Lado A/D:		Lado B:		Lado C:	
	159,2		41,4		40,1	
	160,0		41,3	41,3	40,2	40,1
	159,2		41,2		40,2	
CP3	159,1	159,2		263755	(mm³)	
	159,0		Volume:	263,75	(cm³)	
	158,5			0,000264	(m³)	
	(g)	(kg)				
m3=	534,2	0,5		m/v:	2025	(kg/m³)
	Média Densidade de Massa ARG1				2046	(kg/m³)

Tabela C 9 – Módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica

REF				ARG1			
CP	L (mm)	L médio (mm)	t (µs)	CP	L (mm)	L médio (mm)	t (µs)
	159,62		40,6		159,02		43,1
	159,72		40,4		159,02		42,1
1	159,16	159,43	41,1	1	158,70	158,88	41,1
	159,44		t médio(µs)		159,000		t médio(µs)
	159,42		40,7		158,82		42,1
	159,20				158,70		
V = L/t		3,92	mm/µs	V = L/t		3,77	mm/µs
$E_d = v^2 \times \rho ((1 + \mu)(1-2\mu)/(1-\mu))$				$E_d = v^2 \times \rho ((1 + \mu)(1-2\mu)/(1-\mu))$			
ρ_1	2026	kg/m³		ρ_1	2079	kg/m³	
µ	0,2			µ	0,2		
E_d	28000	MPa		E_d	26600	MPa	
CP	L (mm)	L médio (mm)	t (µs)	CP	L (mm)	L médio (mm)	t (µs)
	159,22		45,6		159,42		41,9
	159,32		41,1		159,38		42,1
2	159,10	159,19	40,1	2	159,80	159,35	42,6
	159,40		t médio(µs)		159,10		t médio(µs)
	159,10		42,3		159,22		42,2
	159,02				159,20		
V = L/t		3,77	mm/µs	V = L/t		3,78	mm/µs

$E_d = v^2 \times \rho ((1 + \mu)(1-2\mu)/(1-\mu))$				$E_d = v^2 \times \rho ((1 + \mu)(1-2\mu)/(1-\mu))$			
ρ_2	2050	kg/m³		ρ_2	2035	kg/m³	
μ	0,2			μ	0,2		
E_d	26200	MPa		E_d	26100	MPa	
CP	L (mm)	L médio (mm)	t (µs)	CP	L (mm)	L médio (mm)	t (µs)
3	159,40	159,41	42,2	3	159,18	159,17	44,1
	159,52		42,2		160,00		43,1
	159,40		42,2		159,22		40,4
	159,30		t médio(µs)		159,12		t médio(µs)
	159,40		42,2		159,00		42,5
	159,42				158,48		
V = L/t		3,78	mm/µs	V = L/t		3,74	mm/µs
$E_d = v^2 \times \rho ((1 + \mu)(1-2\mu)/(1-\mu))$				$E_d = v^2 \times \rho ((1 + \mu)(1-2\mu)/(1-\mu))$			
ρ_3	2039	kg/m³		ρ_3	2025	kg/m³	
μ	0,2			μ	0,2		

Tabela C 10 – Resumo dos resultados do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico

Legenda		Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão
REF	CP 1	28000	26800	1039
	CP 2	26200		
	CP 3	26200		
ARG1	CP 1	26600	26067	551
	CP 2	26100		
	CP 3	25500		

APÊNDICE D – RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS DIFERENTES DOS CONJUNTOS

Figura D 1 – Ruptura do conjunto 8 S REF

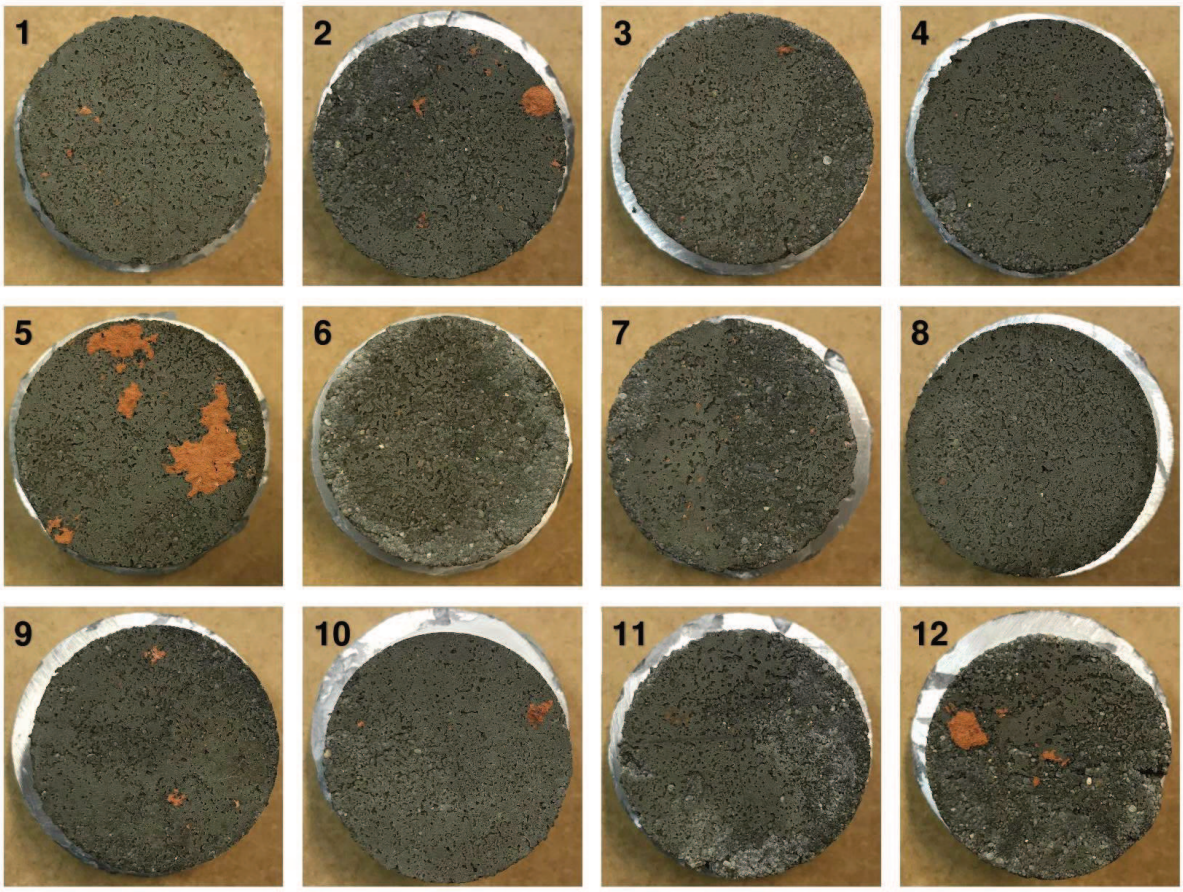


Figura D 2 – Ruptura do conjunto 8 S ARG1

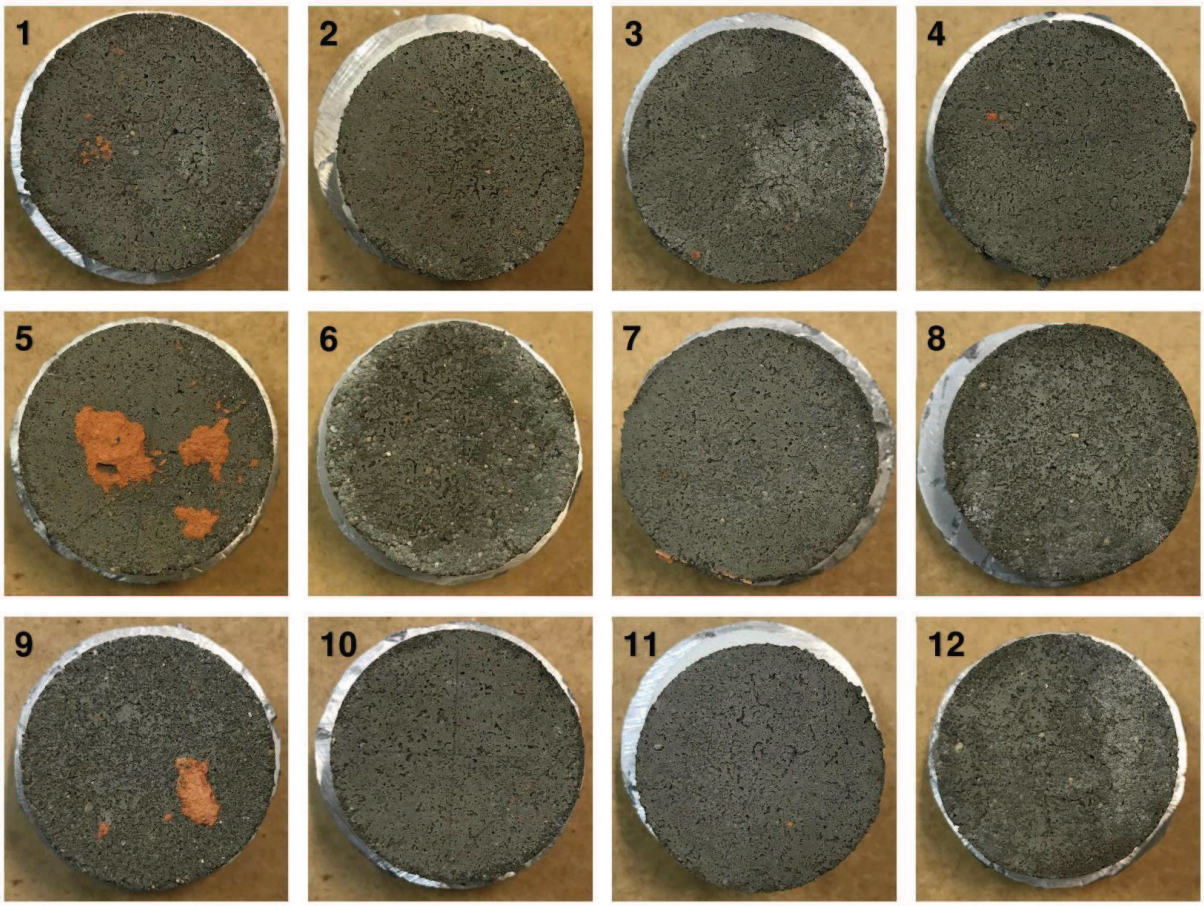


Figura D 3 – Ruptura do conjunto 8 C REF

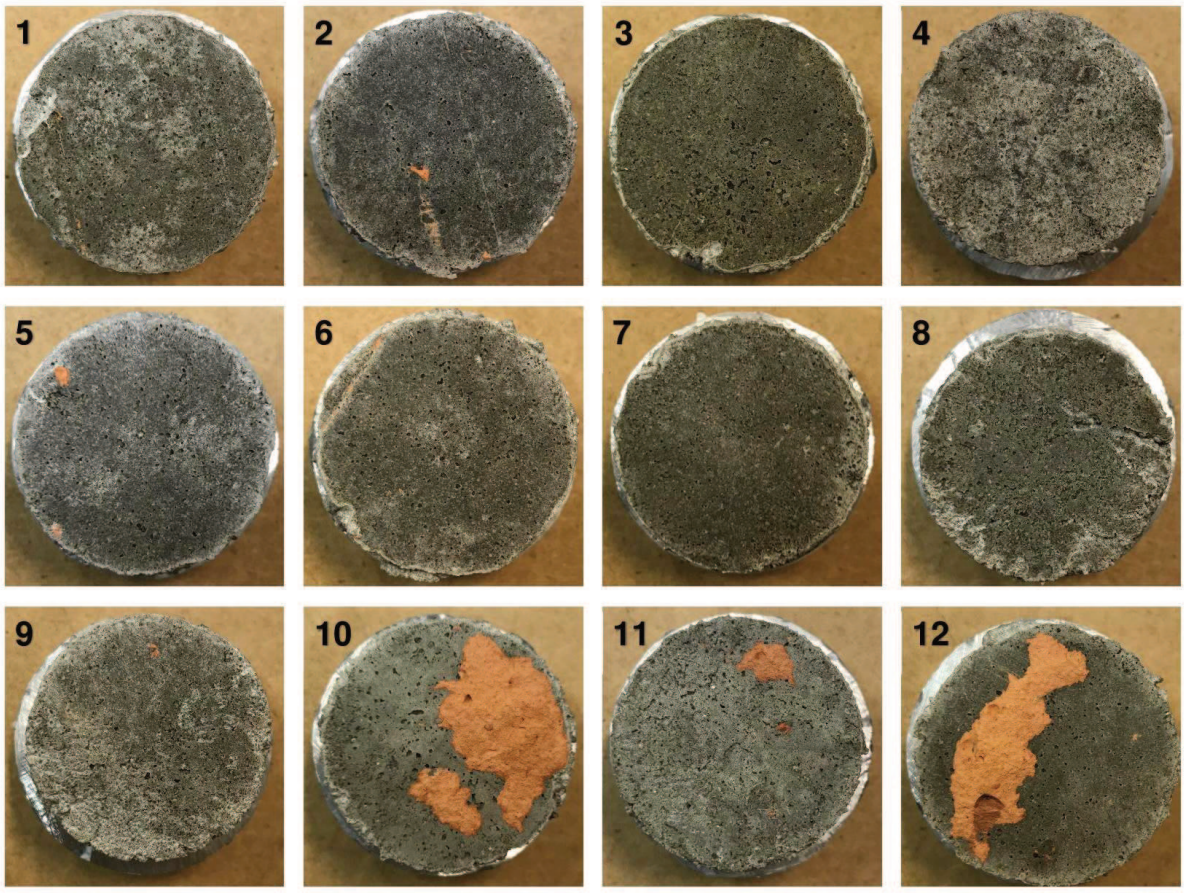


Figura D 4 – Ruptura do conjunto 8 C ARG1

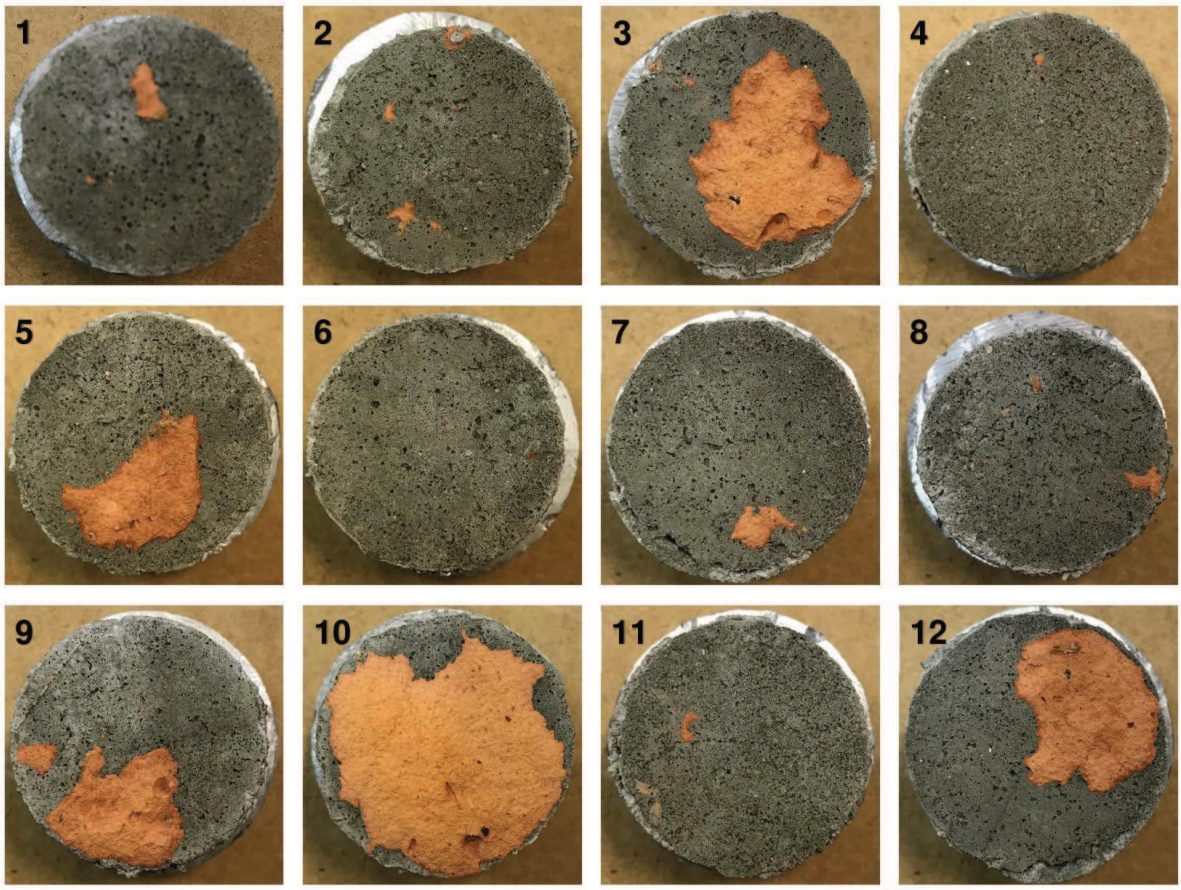


Figura D 5 – Ruptura do conjunto 9 S REF

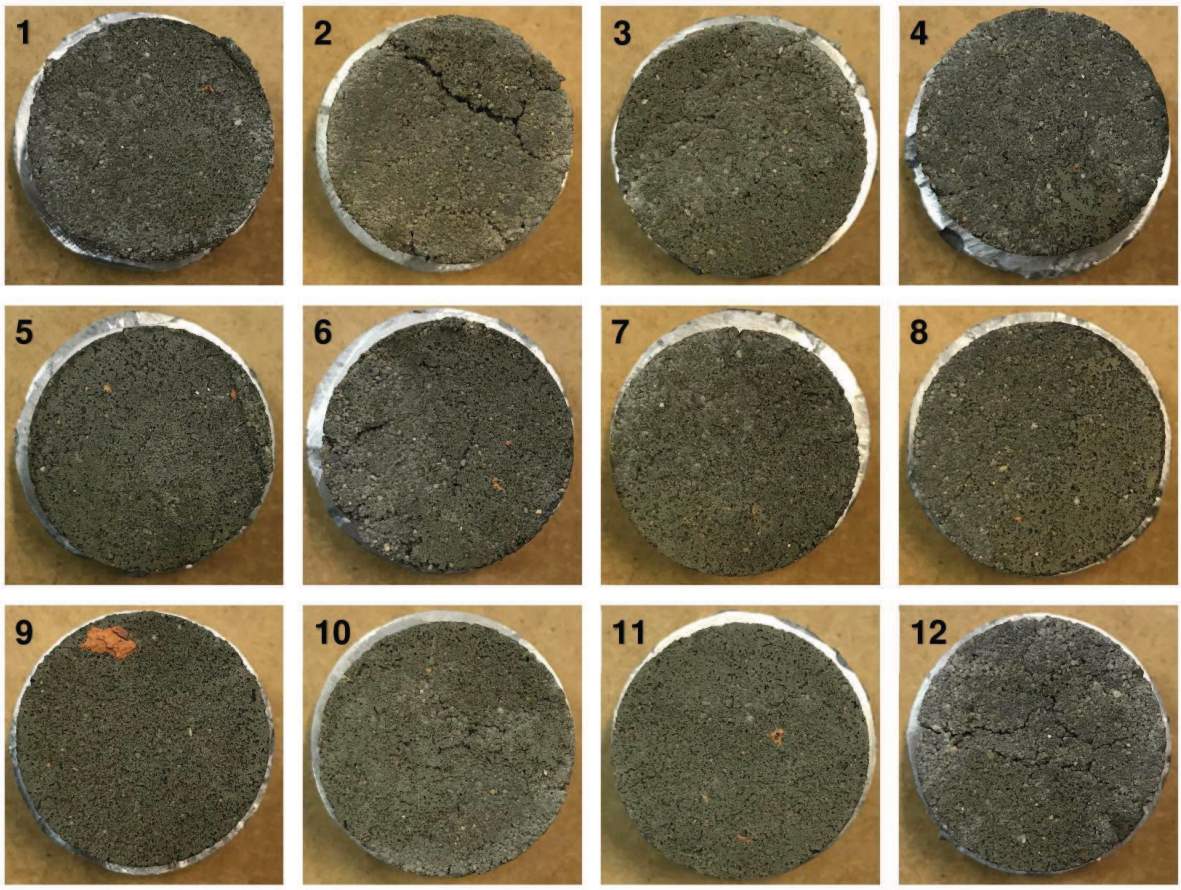


Figura D 6 – Ruptura do conjunto 9 S ARG1

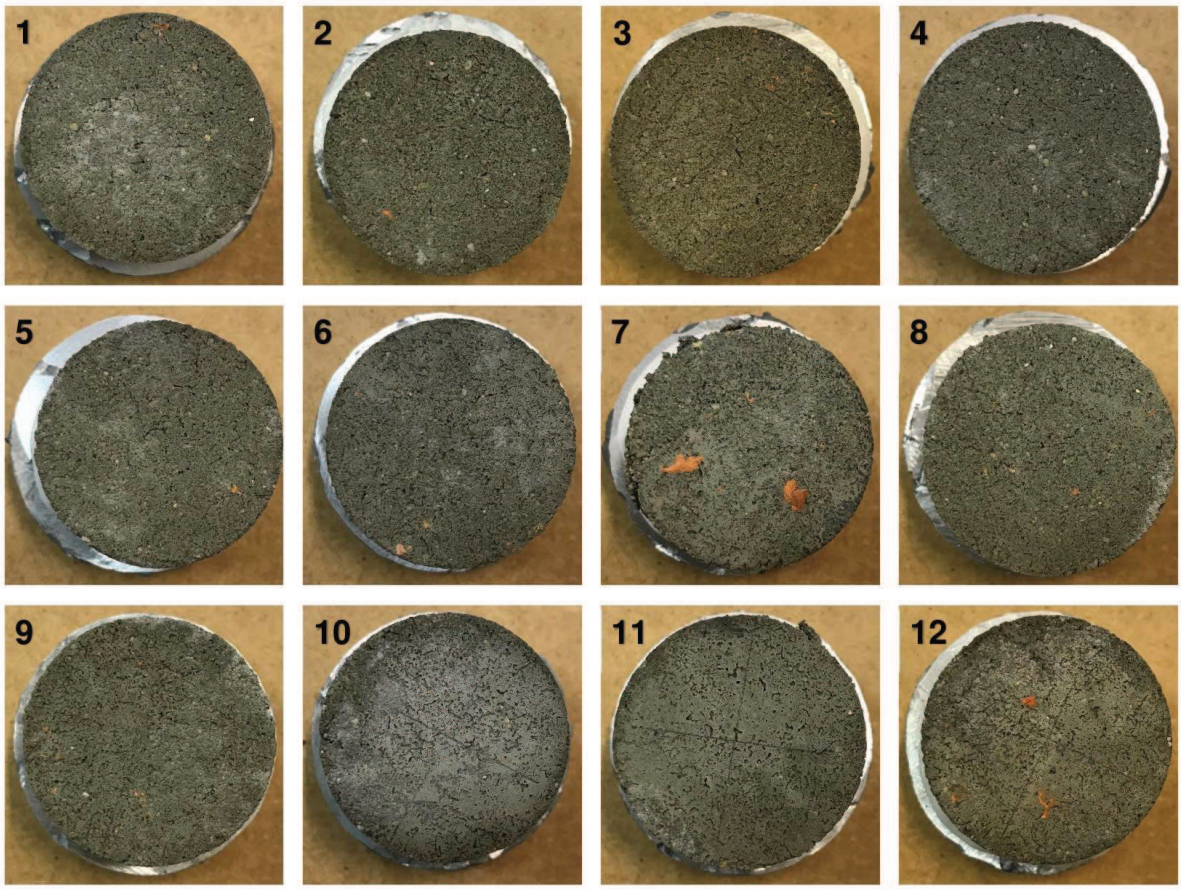


Figura D 7 – Ruptura do conjunto 9 C REF

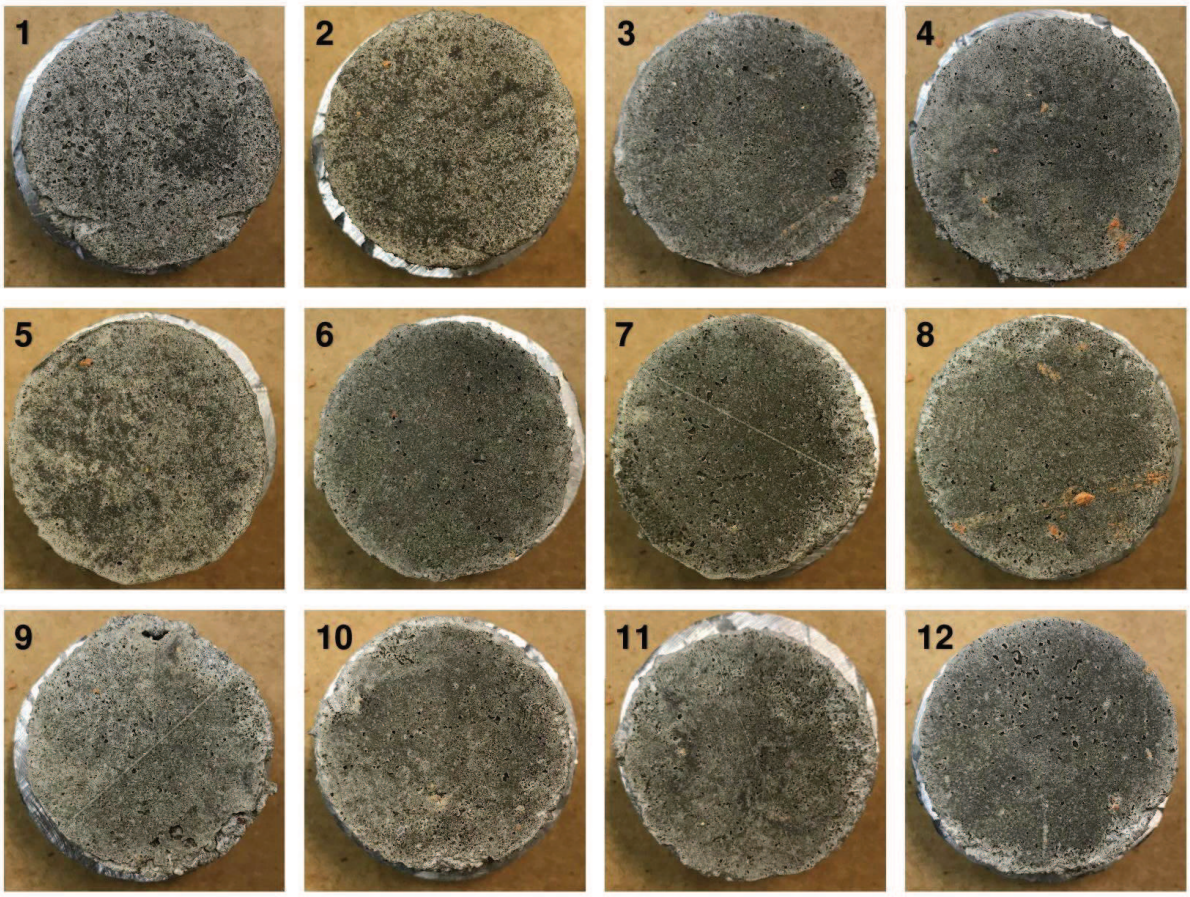


Figura D 8 – Ruptura do conjunto 9 C ARG1

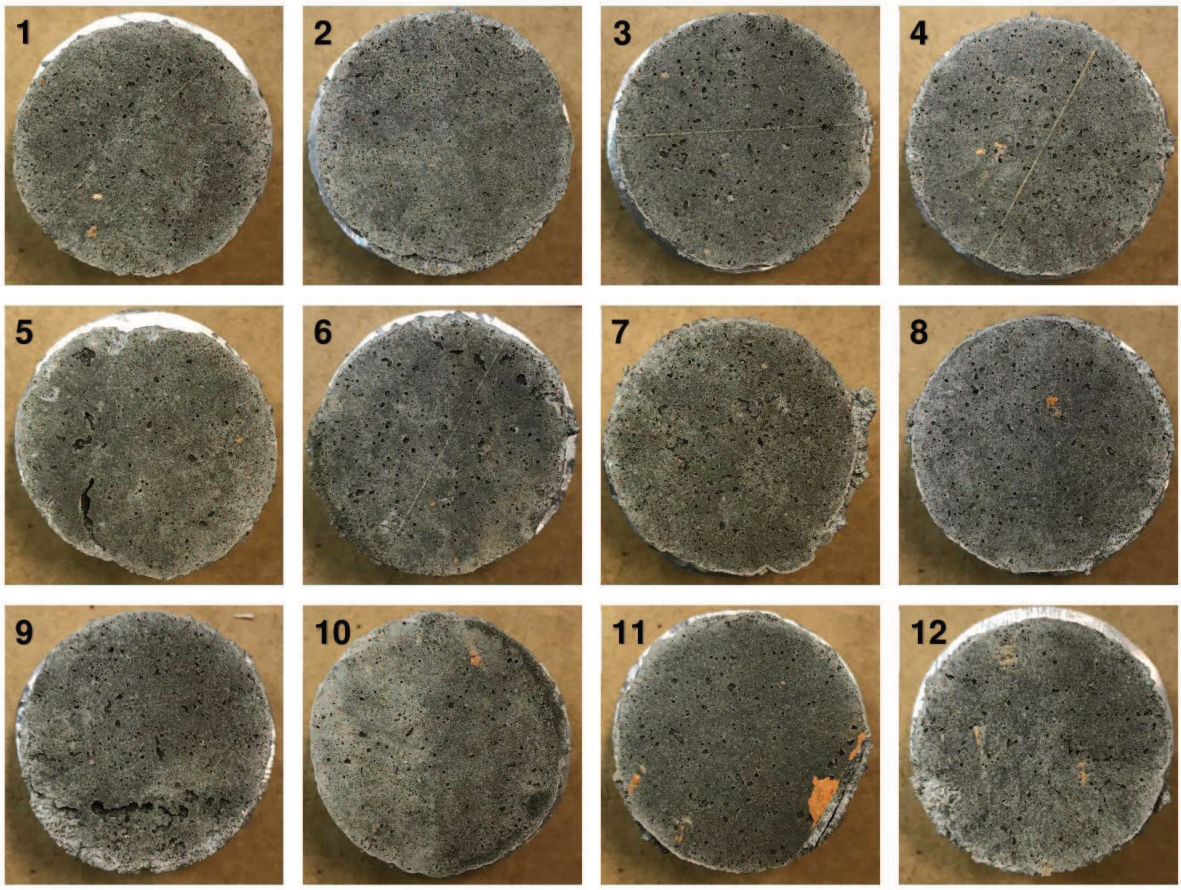


Figura D 9 – Ruptura do conjunto 10 S REF

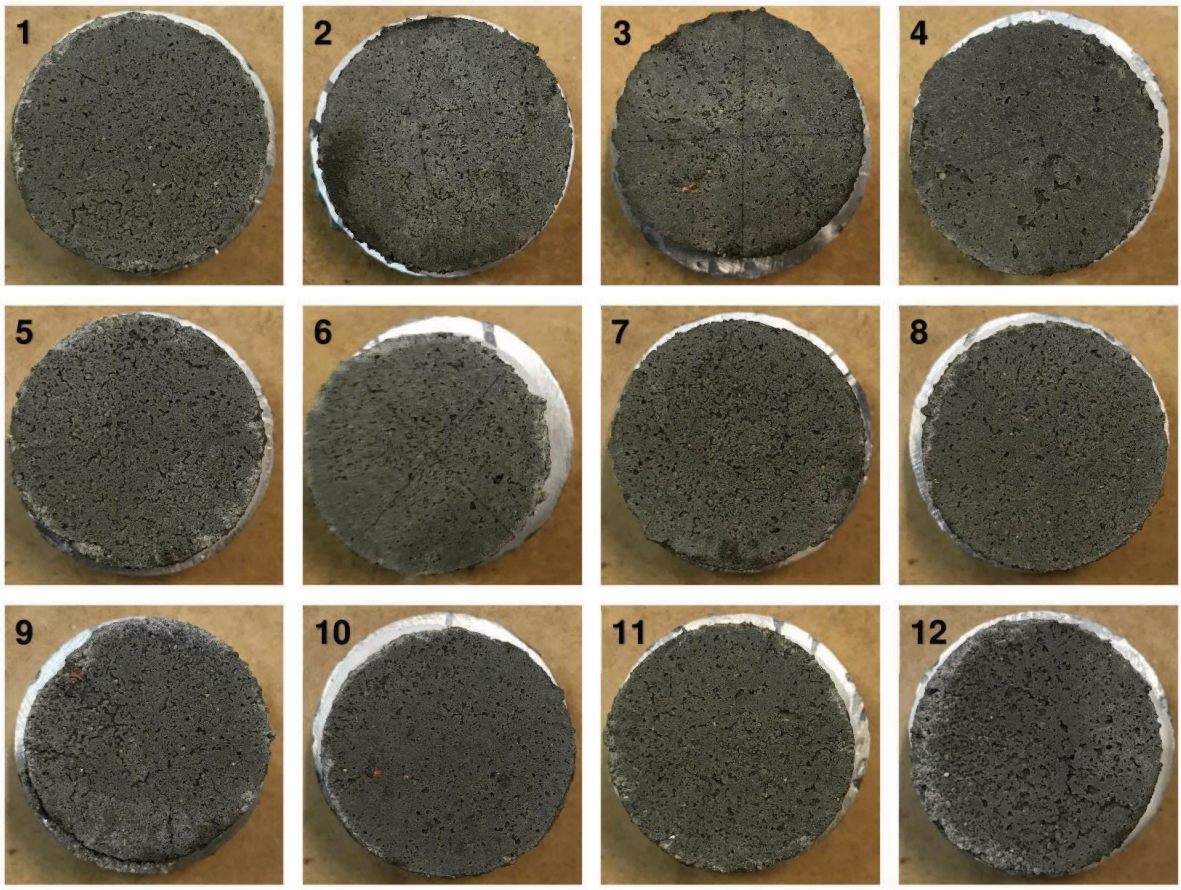


Figura D 10 – Ruptura do conjunto 10 S ARG1

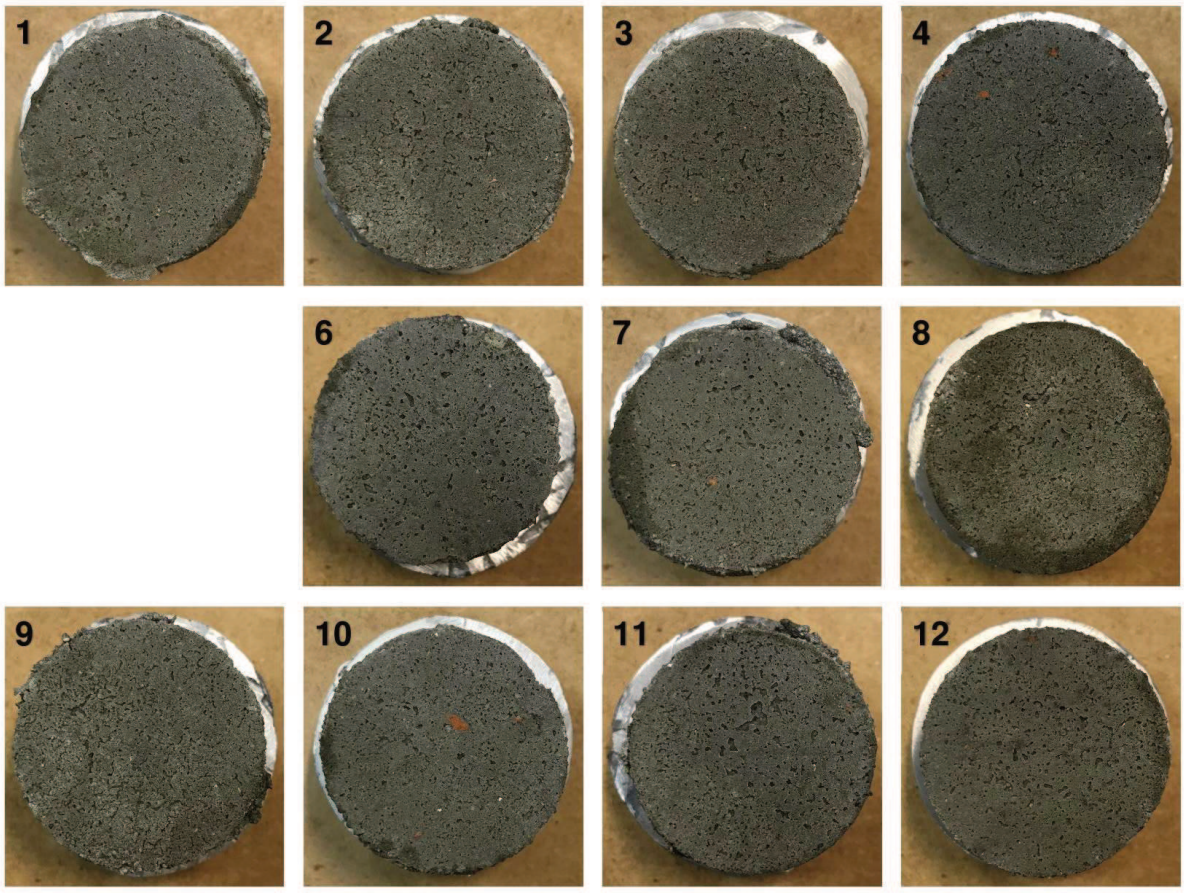


Figura D 11 – Ruptura do conjunto 10 C REF

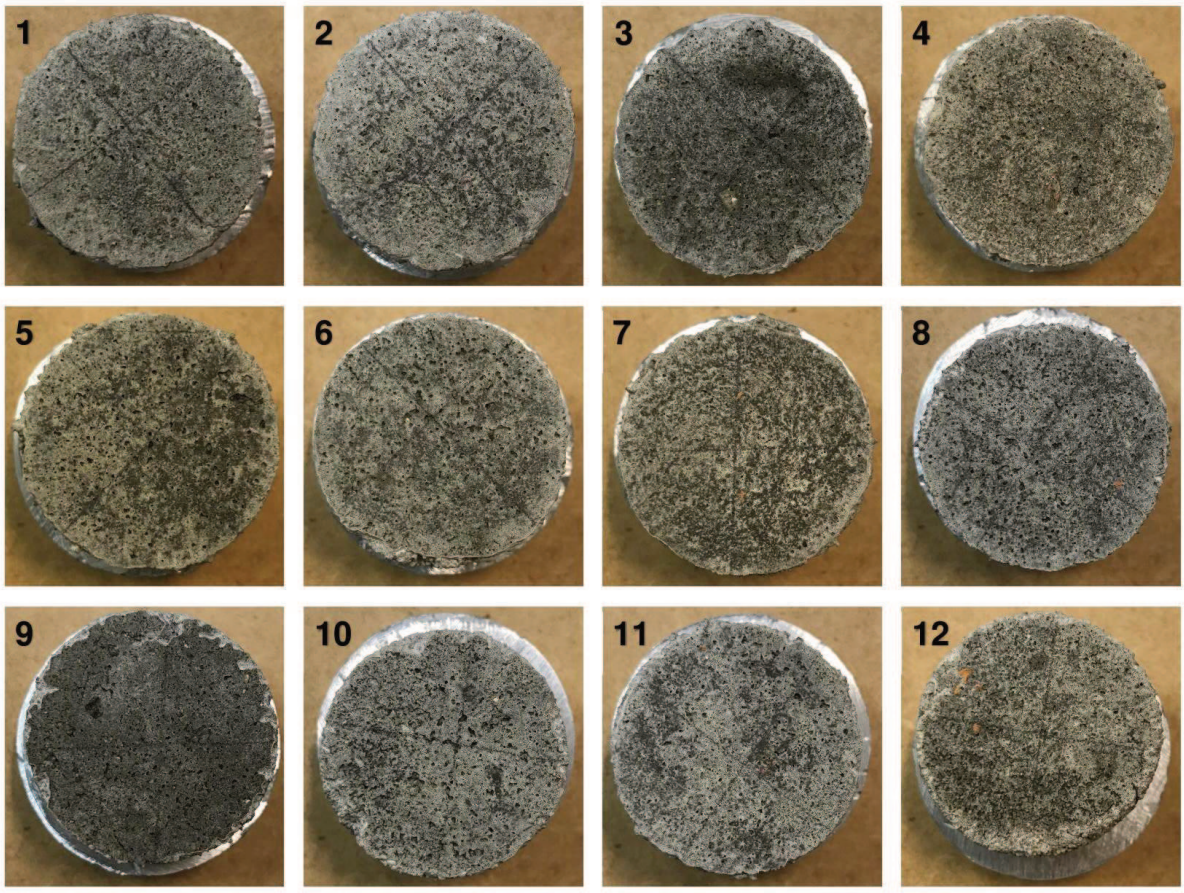
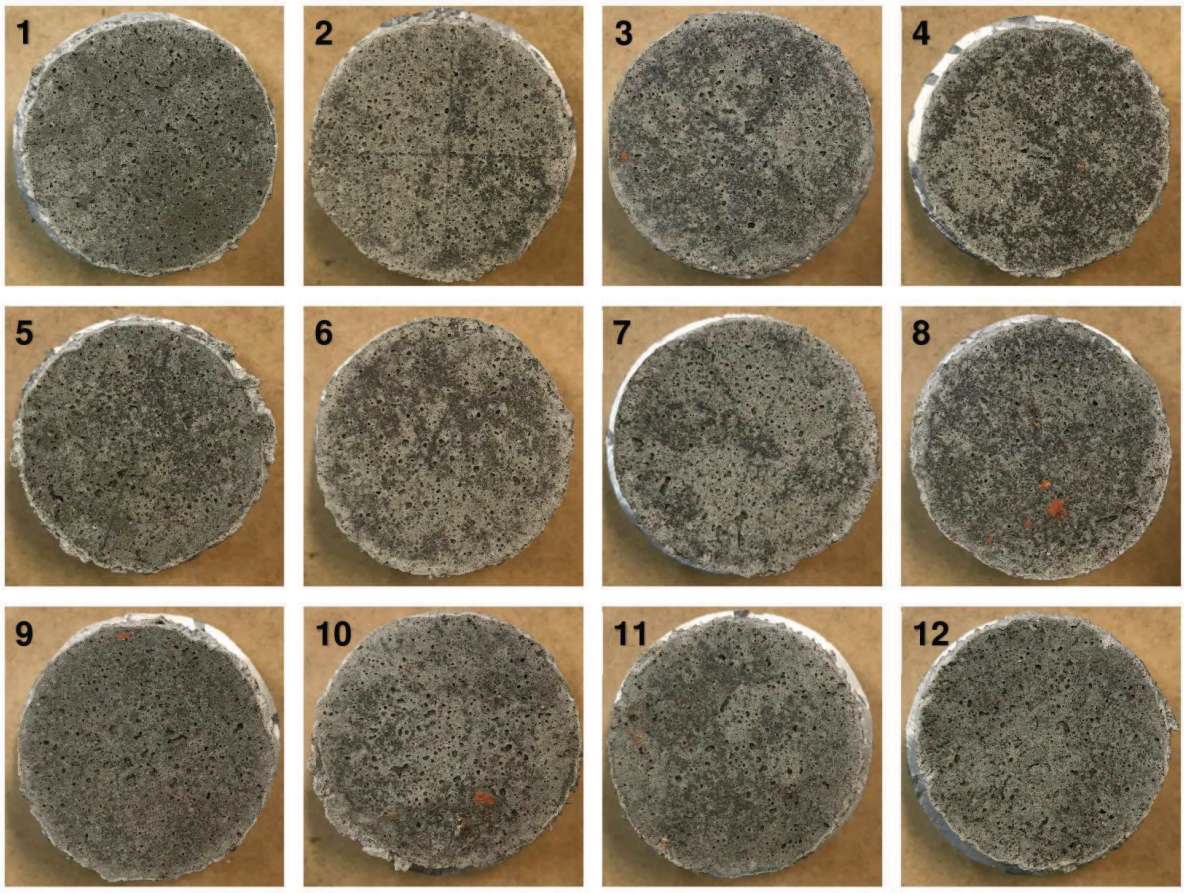


Figura D 12 – Ruptura do conjunto 10 C ARG1



APÊNDICE E – RESULTADOS DO TEOR DE UMIDADE MÉDIO DAS ARGAMASSAS NO MOMENTO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO

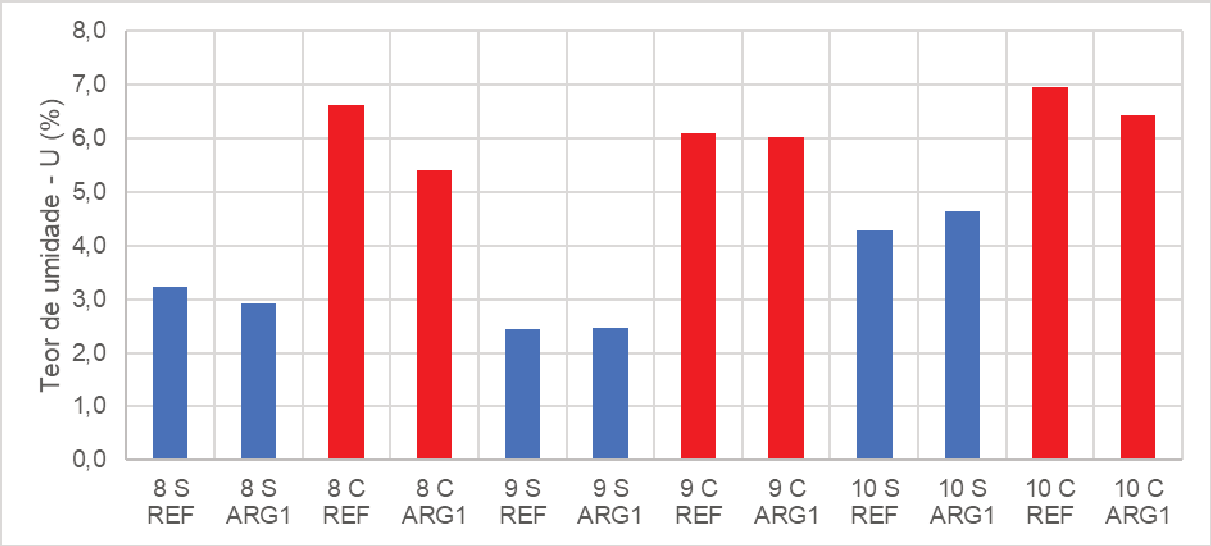



Figura E 1 – Teor de umidade médio das argamassas no momento do ensaio de resistência de aderência à tração dos conjuntos