

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

VALÉRIA COSTA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE E DA ÁREA DE
INTERFACE ENTRE SUBSTRATOS CERÂMICOS E REVESTIMENTO
CIMENTÍCIO NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO**

**SÃO LEOPOLDO
2022**

VALÉRIA COSTA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE E DA ÁREA DE
INTERFACE ENTRE SUBSTRATOS CERÂMICOS E REVESTIMENTO
CIMENTÍCIO NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO**

Tese apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Doutor 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

2022

O48a Oliveira, Valéria Costa de
Análise quantitativa da influência da rugosidade e da área de interface entre substratos cerâmicos e revestimento cimentício na resistência de aderência à tração. / Valéria Costa de Oliveira--2022.
260 f. : il. ; color. ; 30cm.

Tese (Doutorado em Engenharia Civil) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022.

Orientador: Profa. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak.

1. Engenharia Civil. 2. Revestimento cimentício - Aderência. 3. Bloco cerâmico - Rugosidade - Aderência. I. Título. II. Kazmierczak, Claudio de Souza.

CDU 624

VALÉRIA COSTA DE OLIVEIRA

**ANÁLISE QUANTITATIVA DA INFLUÊNCIA DA RUGOSIDADE E DA ÁREA DE
INTERFACE ENTRE SUBSTRATOS CERÂMICOS E REVESTIMENTO
CIMENTÍCIO NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO**

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Doutor 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

Aprovado em 31 de agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a Helena Carasek Cascudo
Universidade Federal de Goiás (UFG)

Prof. Dr. Elton Bauer
Universidade de Brasília (UnB)

Prof. Dr. Francisco Gabriel Santos Silva
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Prof. Dr. Maurício Mancio
Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

Dedico este estudo à minha família, que foi a maior incentivadora na realização desta pesquisa, em especial, ao meu esposo Emerson Ricardo e aos meus filhos Natália Gabriele e Felipe Ricardo. Aos meus pais Valdemir (*in memoriam*) e Maria das Graças.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a **Deus**, ser supremo, no qual me apoiei nos momentos difíceis, busquei forças para superar os obstáculos.

Ao meu esposo, amigo e companheiro **Emerson Ricardo**. Foi nele que busquei força, alegria e amor para seguir em frente. Ele que me levantou nos momentos em que estava cansada física e mentalmente, achando que não conseguiria concluir. Sempre me apoiando. Agradeço por ter me dado todo suporte necessário com os nossos filhos **Felipe** e **Natália** em todas as etapas deste estudo.

A toda a minha família que sempre acreditou na minha capacidade, em especial aos meus pais **Valdemir Oliveira** (*in memoriam*) e **Maria das Graças Oliveira**, que nunca mediram esforços para me proporcionar a educação, sempre me dando apoio. Ao meu irmão **Wagno Oliveira** por cuidar da minha casa, dos meus cachorros, além de torcer por mim.

A minha sogra **Marlene da Rosa** e sogro **Ernane Jessien**, por todo incentivo e acolhimento no período em que morei em Porto Alegre.

Durante todo o processo da elaboração deste trabalho, muitas pessoas se fizeram presentes, dedicando momentos das suas vidas e contribuindo de alguma forma para a finalização da minha pesquisa. A essas pessoas dedico todos os meus agradecimentos.

Meu orientador professor **Dr. Claudio de Souza Kazmierczak**, que apostou na minha capacidade para o desenvolvimento do trabalho, esclareceu as dúvidas geradas no decorrer da pesquisa, disponibilizou seu tempo para direcionar o meu foco principal. Compartilhou seus conhecimentos e desta forma orientou o caminho percorrido, facilitando minha compreensão, impulsionando a conclusão de toda minha pesquisa.

Ao **VizLab**, por todo o auxílio durante o processamento dos dados de rugosidades de blocos cerâmicos. Em especial ao Professor **Dr. Leandro Tonietto**, pelo auxílio na interpretação dos resultados e análise de dados de rugosidade, através de algoritmos computacionais e modelagens matemáticas. Por ter dedicado parte do seu tempo na obtenção dos dados de rugosidades dos blocos cerâmicos. Ao **Alysson Soares Aires**, pelo auxílio em fotografar as amostras dos blocos cerâmicos e na geração das imagens no *software* Metashape da Agisoft.

Professor **Dr. Atilio Efrain Bica Grondona**, pelo auxílio nas definições das análises estatísticas, sempre muito solícito e esclarecedor. Aos professores **Dr.º Maurício Mancio** e **Dr^a Marlova Kulakowski**, por todas as contribuições ao longo do curso e da realização das reuniões do GMAT. A **Elisa Stumpf Bervian** minha gratidão por toda atenção e auxílio junto à secretaria do PPGE.

Aos colegas de pesquisa integrada de teses, **Leandro Tonietto** e **Daiana Arnold**, que auxiliaram de forma intensa na redação, interpretação e análises de resultados, possibilitando a publicação de resultados parciais do trabalho, antes mesmo da defesa.

Ao **Lauro Rosa**, laboratorista do laboratório de Laminação da Unisinos, pelo corte das amostras para ensaios de microscopias e preparo das amostras em lâminas petrográficas, sempre querido e amigo. **Eder Fernandes**, laboratorista do laboratório de ensaios mecânicos da Unisinos, pelos inúmeros ensaios de resistência de aderência à tração, horas e muitas horas desempenhando o ajuste na prensa para manter a ortogonalidade dos corpos de provas. Ao laboratorista do Laboratório de Metrologia da Unisinos, **Victor Silva da Costa**, pelo desenvolvimento dos ensaios de rugosidade com a utilização do perfilômetro 3D. Mesmo em época de pandemia, despendeu o seu tempo e sua dedicação para a realização das tarefas com êxito. **Monique Bordignon Chiele**, pela parceria e auxílio nas análises de microscopia nas lâminas petrográficas. Aos laboratoristas do Laboratório de Materiais de Construção da Unisinos **Bianca Cadore**, **André Stein**, **Igor Wiskow** e **Leonardo Himmer**, vocês foram importantes na caminhada de realização do Programa Experimental, muito obrigada mesmo!

Agradeço aos fornecedores dos materiais utilizados nos ensaios. **Pauluzzi Blocos Cerâmicos**, **Olaria Diehl Irmãos**, **Cerâmica Ritter**, **Cepazzi Produtos Cerâmicos** e **Construrohr**, que forneceram os blocos cerâmicos para a realização da pesquisa.

Às colegas de doutorado e amigas **Ieda Zanolla** e **Franciele Oliveira** que, no decorrer desses quatro anos em que estivemos juntas, torcemos uma pela outra para a finalização de cada etapa. Aos colegas **Kátia Jocasta Grings**, **Roger Ribeiro**, **Rorenychollas Melo**, **Jeferson Alcântara**, **Ana Marta**, **Raquel Nazário**, **Rossana Chiaramonte** e **Luiz Zuliani** por toda a ajuda despendida no estudo. A todos que de alguma forma fizeram parte desta etapa da minha vida.

Às amigas-irmãs que, mesmo à distância, estiveram comigo, na torcida, enviando energias positivas e mantendo aquele carinho e palavras que temos ao longo de tantos anos, **Maria Eliana Saraiva, Yáskara Maria Granjeiro, Mayara Santos, Juliana Simas, Alekssandra Pacheco e Kelly Régia Vieira.** Muito obrigada.

Aos professores **Rosa Martins Costa Pereira, Maria Luiza Santos, Carlos Augusto Bauer, Jamile Mariano, Antônio Santos Júnior, Iraquitán Simões, Famir Apontes, Rodrigo Brasil, Elton Bauer, Valdirene Maria Silva Capuzzo e Eugênia Fonseca** minha gratidão. Todos motivaram minha vontade de continuar, mesmo eu não acreditando que conseguiria!!

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, *Campus* Porto Alegre. Aos docentes **Bianca Smith Pilla, Adriana Oliveira de Pinho, Maria Cláudia Kirsch Bíssigo, Danilo Franchini, Sérgio Augusto Letizia Garcia, Fabrício Sobrosa Affeldt e Ioli Gewerh Wirth** muito obrigada pelo carinho e pela recepção quando do exercício provisório no IFRS. Não posso esquecer dos discentes dos cursos técnicos em Segurança do Trabalho e Transações Imobiliárias. Sempre tão carinhosos comigo e atentos.

Aos colegas e alunos do **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia** obrigada pelo incentivo e auxílio ao longo de 12 anos de exercício.

RESUMO

O sistema de vedação adotado no Brasil, tradicionalmente, é constituído por blocos cerâmicos e revestimentos de argamassas. A propriedade que relaciona a junção entre o substrato e a argamassa é a aderência. Os blocos cerâmicos são caracterizados de acordo com sua porosidade, rugosidade superficial e sucção capilar, dependentes da composição da matéria-prima, do processo e da temperatura de sinterização empregados em sua produção. As argamassas são materiais multifásicos, compostos por partículas com distintas distribuições granulométricas, homogeneizados no estado fresco e que no estado endurecido resultarão em alterações volumétricas, incluindo os produtos de hidratação do cimento. Nesse sentido, o objetivo principal é a análise quantitativa da influência da rugosidade e da área de interface entre substratos cerâmicos e revestimento cimentício na resistência de aderência à tração. Dessa forma, propôs-se trabalhar uma única pasta de cimento, aplicá-la sobre cinco blocos cerâmicos com diferentes rugosidades e assim quantificar a aderência da pasta em diferentes topografias de substratos e correlacionar a área de interface entre os substratos e a pasta de cimento Portland. Os blocos cerâmicos foram caracterizados quanto à rugosidade empregando métodos 3D por perfilometria a laser e fotogrametria. Nesta pesquisa, foram quantificados parâmetros de rugosidade que mostraram uma interferência significativa na aderência entre o bloco cerâmico e a matriz cimentícia. A heterogeneidade do substrato cerâmico implica que, quando a resistência à tração entre uma matriz cimentícia e o substrato é determinada em uma área de menor dimensão, obtém-se menor variabilidade e maior resistência do que quando ela é determinada em uma área de maior dimensão. A rugosidade exerce grande influência na resistência de aderência à tração, que também é influenciada por outros fatores que se sobrepõem. Uma regressão linear múltipla, determinada a partir de distintos substratos cerâmicos, quando utilizada para a análise individual de cada substrato, não consegue estimar resultados de aderência com um coeficiente de determinação significativo. Entretanto, é possível relacionar uma matriz de rugosidade, correlacionando a altura média dos vales (R_{vm}) e a rugosidade média (R_a), com as respectivas áreas médias dos vales (A_{mv}) do substrato e com as resistências médias de aderência à tração.

Palavras-chave: aderência; rugosidade, blocos cerâmicos; revestimentos; multiescala.

ABSTRACT

The sealing system adopted in Brazil, traditionally, consists of ceramic blocks and mortar renderings. The property that relates the junction between the substrate and the mortar is adhesion. Ceramic blocks are characterized according to their porosity, surface roughness and capillary suction, depending on the composition of the raw material, the process and the sintering temperature used in their production. Mortars are multiphase materials, composed of particles with different granulometric distributions, homogenized in the fresh state and which in the hardened state will result in volumetric changes, including the cement hydration products. In this sense, the main objective is the quantitative analysis of the influence of roughness and interface area between ceramic substrates and cementitious coating on the tensile bond strength. Thus, it was proposed to work with a single cement paste, apply it on five ceramic blocks with different roughness and thus quantify the adhesion of the paste in different topographies of substrates and correlate the interface area between the substrates and the Portland cement paste. . The ceramic blocks were characterized for roughness using 3D methods by laser profilometry and photogrammetry. In this research, roughness parameters that showed a significant interference in the adhesion between the ceramic block and the cement matrix were quantified. The heterogeneity of the ceramic substrate implies that when the tensile strength between a cementitious matrix and the substrate is determined in a smaller area, less variability and greater strength is obtained than when it is determined in a larger area. Roughness has a great influence on the tensile bond strength, which is also influenced by other factors that overlap. A multiple linear regression, determined from different ceramic substrates, when used for the individual analysis of each substrate, cannot estimate adhesion results with a significant coefficient of determination. However, it is possible to relate a roughness matrix, correlating the average height of the valleys (R_{vm}) and the average roughness (R_a), with the respective average areas of the valleys (A_{mv}) of the substrate and with the average tensile bond strengths.

Keywords: adherence; roughness, ceramic blocks; renderings mortars; multiscale.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática dos mecanismos de intertravamento mecânico	32
Figura 2 - Esquema de molhamento: a) adequado; b) deficiente	37
Figura 3 - Diagrama esquemático de molhamento de superfície rugosa <i>versus</i> o perfil medido da superfície real no material cerâmico.....	38
Figura 4 - Condições de molhamento: a) Molhamento total (superfície super-hidrofílica); b) Molhamento parcial (superfície hidrofílica) e c) Não molhamento (superfície hidrofóbica).....	39
Figura 5 - Fatores que exercem influência sobre a aderência	46
Figura 6 - Esquema de cisalhamento mecânico e ligação à tração entre substrato e adesivo, resultante de mecanismos de intertravamento.....	49
Figura 7 - Efeito de escala na decomposição do perfil	51
Figura 8 - Efeito da sucção de água na interface bloco cerâmico e pasta formando bolhas de ar	60
Figura 9 - Reações que causam retração autógena e química - C - cimento, A - água, Cy - produtos de hidratação, e V - vazios gerados pela hidratação.....	62
Figura 10 - Proposta de estudo multiescala para análise da interação argamassa e substrato	67
Figura 11 - Diagrama do programa experimental	71
Figura 12 – Diagrama da primeira etapa	72
Figura 13 - Diagrama da segunda etapa	73
Figura 14 - Diagrama da terceira etapa.....	74
Figura 15 - Blocos cerâmicos: a) substratos da olaria 1; b) substratos da olaria 2; c) substratos da olaria 3; d) substratos da olaria 4; e) substratos da olaria 5	76
Figura 16 - Fluxograma do processo de preparo das lâminas petrográficas	78
Figura 17 - Lâminas petrográficas dos substratos: a) Substratos 1; b) Substratos 2;c) Substratos 3; d) Substratos 4; e) Substratos 5.....	79
Figura 18 - Gráficos de fluxo de calor e calor acumulado das pastas de cimento Portland	83
Figura 19 - Métodos experimentais	84
Figura 20 - Classificação das regiões de área de vale	86
Figura 21 - Mapa de altura	87

Figura 22 - Caracterização das rugosidades por perfilômetro a laser 3D	89
Figura 23 - Caracterização das rugosidades por fotogrametria	90
Figura 24 - Marcação dos pontos de referência	91
Figura 25 - Área de processamento de dados da fotogrametria	92
Figura 26 - Parâmetros de rugosidade obtidos por meio da fotogrametria	93
Figura 27 - Taxa de absorção capilar – Ch	96
Figura 28 - Taxa de absorção capilar - Sh	96
Figura 29 - Taxa de absorção capilar: a) Sh; b) Ch	97
Figura 30 - Ensaio de ângulo de contato e aferição de ângulo	100
Figura 31 - Sequência de realização do ensaio de espalhamento empregando o mini cone de Kantro.....	102
Figura 32 - Fluxograma de moldagens das pastas – segunda etapa	103
Figura 33 - Fluxograma de moldagens das pastas – terceira etapa	105
Figura 34 - Fluxograma de preparo das amostras para o ensaio de resistência de aderência à tração – segunda etapa	106
Figura 35 - Dispersão Ra <i>versus</i> Amv.....	111
Figura 36 - Áreas médias de vales das amostras de substratos	116
Figura 37 - Porosidade equivalente <i>versus</i> Amv – Ch.....	118
Figura 38 - Médias e desvios-padrão de RAT : a) Ch, b)Sh	121
Figura 39 - Faixas de Amv <i>versus</i> RAT: a) Ch, b) Sh	124
Figura 40 - Faixas de Rvm <i>versus</i> RAT: a) Ch, b) Sh.....	125
Figura 41 - Dispersão RAT <i>versus</i> Amv: a) Ch, b) Sh	125
Figura 42 - Dispersão RAT <i>versus</i> Rvm: a) Ch, b) Sh.....	126
Figura 43 - Gráfico de dispersão 3D dos parâmetros de rugosidade <i>versus</i> RAT- Ch	127
Figura 44 - Perfil de rugosidade: a) vales mais largos e Rvm mais rasos; b) vales mais estreitos e Rvm mais profundos	128
Figura 45 - Análise PCA - amostras Ch.....	133
Figura 46 - Análise PCA - amostras Sh.....	134
Figura 47 - Distribuição normal e análise de 2 desvios-padrão: a) Sh; b) Ch	136
Figura 48 - Heterogeneidade de superfície dos substratos cerâmicos	140
Figura 49 - Perfil 3D obtido pelo método da fotogrametria	141
Figura 50 - Áreas de 10x10 mm em uma mesma superfície de bloco cerâmico - Sh	142

Figura 51 - Áreas de 10x10 mm em uma mesma superfície de bloco cerâmico - Ch
..... 143

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Modelo teórico e escalas de estudos relacionados à aderência	30
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Métodos de aferição de parâmetros de rugosidade.....	54
Tabela 2 - Características dos blocos cerâmicos	76
Tabela 3 - Dados percentuais dos principais compostos químicos obtidos pelas técnicas de FRX.....	77
Tabela 4 - Características do hidrofugante.....	80
Tabela 5 - Caracterização do cimento CP V – ARI.....	81
Tabela 6 - Características dos aditivos.....	83
Tabela 7 - Taxas de absorção capilar	95
Tabela 8 - Taxa de absorção capilar inicial	98
Tabela 9 - Porosidades e percentual aparente de preenchimento dos poros	98
Tabela 10 - Dosagem e caracterização das pastas de cimento Portland	103
Tabela 11 - Análises estatísticas de R_a	111
Tabela 12 - Dados estatísticos dos parâmetros R_{vm} - Ch	112
Tabela 13 - Dados estatísticos dos parâmetros R_{vm} - Sh.....	112
Tabela 14 - Classes de R_{vm} - Ch.....	113
Tabela 15 - Classes de R_{vm} – Sh	113
Tabela 16 - Dados do teste Z estatísticos aplicados aos R_{vm} – Ch.....	113
Tabela 17 - Dados do teste Z estatísticos aplicados aos R_{vm} - Sh.....	114
Tabela 18 - Dados estatísticos de A_{mv} - Substratos Ch	114
Tabela 19 - Dados estatísticos de A_{mv} - Substratos Sh.....	115
Tabela 20 - Classes de A_{mv} - Ch.....	115
Tabela 21 - Classes de A_{mv} – Sh	115
Tabela 22 - Teste Z para os dados estatísticos de áreas médias de vales (A_{mv}) – Ch	117
Tabela 23 - Teste Z para os dados estatísticos de áreas médias de vales (A_{mv}) - Sh	117
Tabela 24 - Dados estatísticos RAT - Ch	120
Tabela 25 - Dados estatísticos RAT - Sh	120
Tabela 26 - Teste Z dos dados estatísticos de RAT - Ch	122
Tabela 27 - Teste Z dos dados estatísticos de RAT - Sh	122
Tabela 28 - Classes de RAT – Ch.....	123
Tabela 29 - Classes de RAT – Sh.....	124

Tabela 30 - Regressão linear múltipla por substrato e geral - Ch.....	127
Tabela 31 - Regressão linear múltipla por substrato e geral - Sh	128
Tabela 32 - Classes de Amv - conjunto de substratos Ch	129
Tabela 33 - Matriz RAT <i>versus</i> parâmetros de rugosidade - Ch.....	130
Tabela 34 - Classes de Amv por substratos individuais - Ch.....	131
Tabela 35 - Classes de Amv – conjunto de substratos Sh	132
Tabela 36 - Matriz RAT <i>versus</i> parâmetros de rugosidade - Sh	133
Tabela 37 - Teste Z - RAT - terceira etapa.....	136
Tabela 38 - Dados estatísticos determinados a partir de fotogrametria - Ch	137
Tabela 39 - Dados estatísticos determinados a partir de fotogrametria - Sh	138
Tabela 40 - Classes de Ra - Fotogrametria - Ch.....	138
Tabela 41 - Classes de Ra - Fotogrametria - Sh	139
Tabela 42 - Matriz de rugosidade - Ch - Amv <i>versus</i> Ra - terceira etapa	139
Tabela 43 - Matriz de rugosidade - Sh - <i>versus</i> Rvm - terceira etapa.....	140
Tabela 44 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 1 - Ch.	161
Tabela 45 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 2 - Ch.	163
Tabela 46 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 3 - Ch.	165
Tabela 47 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 4 - Ch.	167
Tabela 48 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 5 - Ch.	169
Tabela 49 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 1 - Sh.....	171
Tabela 50 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 2 - Sh.....	172
Tabela 51 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 3 - Sh.....	174
Tabela 52 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 4 - Sh.....	176
Tabela 53 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 5 - Sh.....	178
Tabela 54 - Ângulos de contato - Substrato 1	180
Tabela 55 - Ângulos de contato - Substrato 2	180
Tabela 56 - Ângulos de contato - Substrato 3	181
Tabela 57 - Ângulos de contato - Substrato 4.	182
Tabela 58 - Ângulos de contato - Substrato 5.	183
Tabela 59 - Ângulos de contato e taxa de absorção de água inicial.....	183
Tabela 60 - RAT e espalhamento das diferentes relações água/ligante e tratamentos de substratos	186
Tabela 61 - RAT e espalhamento das pastas produzidas com aditivos.....	188

Tabela 62 - Densidade e teor de ar incorporado das pastas PAC55Ch, PAC40ChAD1 e PAC40ChAD2	188
Tabela 63 - Caracterização das pastas PAC45AD2Ch ao longo do tempo de preparo da pasta	190
Tabela 64 - Cálculo das RAT – etapa-piloto.	193
Tabela 65 - Cálculo das RAT – Etapa-piloto - Aditivos	196
Tabela 66 - Dados de viscosidades das pastas.	197
Tabela 67 - RAT ao longo dos tempos.	202
Tabela 68 - RAT Substratos Ch <i>versus</i> parâmetros de rugosidade.	204
Tabela 69 - RAT Substratos Sh <i>versus</i> parâmetros de rugosidade.	212
Tabela 70 - Histogramas Rvm – substratos Ch	216
Tabela 71 - Histogramas Amv – substratos Ch	217
Tabela 72 - Histogramas de Rvm – Substratos Sh.	217
Tabela 73 - Histogramas de Amv - Substratos Sh.	218
Tabela 74 - Teste Z - Rvm - Substratos Ch	219
Tabela 75 - Teste Z - Amv - Substratos Ch	220
Tabela 76 - Testes Z Rvm - Substratos Sh.	221
Tabela 77 - Testes Z Amv - Substratos Sh.	222
Tabela 78 - Cálculo de RAT. Superfícies Ch.	223
Tabela 79 - Cálculo de RAT. Superfícies Sh.	235
Tabela 80 - Histogramas de RAT – Substratos Ch.	238
Tabela 81 - Histograma das RAT - substratos Sh	239
Tabela 82 - Teste Z - RAT - Substratos Ch	240
Tabela 83 - Teste Z RAT - Substratos Sh.	241
Tabela 84 - Regressão linear múltipla - Ch	242
Tabela 85 - Regressão linear múltipla – substratos Sh.	244
Tabela 86 - Parâmetros de rugosidade e RAT das amostras Ch - terceira etapa...	246
Tabela 87 - Parâmetros de rugosidade e RAT das amostras Sh – terceira etapa.	248
Tabela 88 - RAT dos substratos Sh.	250
Tabela 89 - RAT dos substratos Ch.	255

SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFM	Microscopia de Força Atômica
AFm	Mono sulfato
AFt	Etringita
Amv	Áreas médias de vales
ASTM	American Society for Testing and Materials
C ₂ S	Silicato dicálcico
C ₃ A	Aluminato tricálcico
C ₃ S	Silicato tricálcico
C ₄ AF	Ferroaluminato tetracálcico
CH	Hidróxido de Cálcio
Ch	Com hidrorrepelente
C-S-H	Silicato hidratado de cálcio
DRX	Difração de Raios-X
EDS	Espectrometria de raios-X por dispersão de energia
FRX	Espectrometria de fluorescência de raios-X
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LiDAR	<i>Light Detection And Ranging</i>
MET	Microscopia Eletrônica de Transmissão
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MPa	Mega Pascal
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
Ra	Rugosidade média de picos e vales
RAT	Resistência de aderência à tração
Rvm	Altura média de vales
RILEM	<i>The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures</i>
Sh	Sem hidrorrepelente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	23
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESES.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.3.1 Objetivo geral	24
1.3.2 Objetivos específicos	25
1.4 JUSTIFICATIVA.....	25
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
2.1 TEORIAS DA ADESÃO.....	29
2.1.1 Adesão por intertravamento mecânico	31
2.1.2 Adesão por adsorção	35
2.1.2.1 Molhamento	36
2.1.2.2 Ligações químicas.....	41
2.1.2.3 Ligações interfaciais de argamassas aplicadas sobre substratos.....	42
2.1.3 Adesão por difusão	43
2.1.4 Adesão eletrostática	44
2.1.5 Principais conclusões sobre as teorias da adesão	45
2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A ADERÊNCIA.....	45
2.3 CARACTERÍSTICAS DE BLOCOS CERÂMICOS QUE INFLUENCIAM A ADERÊNCIA.....	50
2.4 CARACTERÍSTICAS DA INTERFACE FORMADA ENTRE A PASTA DE CIMENTO E SUBSTRATOS CERÂMICOS.....	58
2.5 ANÁLISES MULTIESCALA APLICADAS AOS ESTUDOS DA ADERÊNCIA	64
3 MATERIAIS E MÉTODOS	69
3.1 MATERIAIS.....	75
3.1.1 Caracterização dos blocos cerâmicos	75
3.1.2 Características do hidrofugante	80
3.1.3 Caracterização das partículas do cimento CP V - ARI	81
3.1.4 Características dos aditivos superplastificantes	82
3.2 MÉTODOS.....	84
3.2.1 Caracterização da rugosidade dos blocos cerâmicos	85

3.2.2 Caracterização dos blocos cerâmicos quanto à absorção de água e ângulos de contato	93
3.2.3 Produção e caracterização das pastas de cimento Portland no estado fresco	101
3.2.4 Moldagem das pastas em substratos cerâmicos e cura dos corpos de prova	103
3.2.5 Ensaio de resistência de aderência à tração de pastas aplicadas em substratos de blocos cerâmicos.....	105
3.2.6 Análises estatísticas	107
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	110
4.1 PRIMEIRA ETAPA	110
4.1.1 Parâmetros de rugosidade dos substratos cerâmicos	110
4.1.2 Conclusões da primeira etapa	118
4.2 SEGUNDA ETAPA.....	119
4.2.1 Resistência de aderência à tração	119
4.2.2 Análises da influência dos parâmetros de rugosidade sobre a resistência de aderência à tração	124
4.2.3 Conclusões da segunda etapa	135
4.3 TERCEIRA ETAPA	135
4.3.1 Análises dos resultados de resistência de aderência à tração.....	135
4.3.2 Análises da influência dos parâmetros de rugosidade na aderência.....	137
4.3.3 Conclusões da terceira etapa.....	145
5 CONCLUSÃO	146
6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	148
REFERÊNCIAS	149
APÊNDICE A - CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS - ABSORÇÃO DE ÁGUA	161
APÊNDICE B - ÂNGULOS DE CONTATO.....	180
APÊNDICE C - ETAPA-PILOTO	184
APÊNDICE D - RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ETAPA-PILOTO	193
APÊNDICES E - RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ETAPA-PILOTO - ADITIVOS.....	196
APÊNDICES F - DADOS DA REOLOGIA DAS PASTAS	197

APÊNDICE G - RAT AO LONGO DOS TEMPOS	202
APÊNDICES H - DADOS DOS PARÂMETROS DE RUGOSIDADE	204
APÊNDICE I - HISTOGRAMAS - PRIMEIRA ETAPA	216
APÊNDICE J - TESTES Z - PRIMEIRA ETAPA	219
APÊNDICE K - CÁLCULO DAS RAT - SEGUNDA ETAPA	223
APÊNDICE L - HISTOGRAMAS DAS RAT - SEGUNDA ETAPA	238
APÊNDICE M - TESTE Z DAS RAT - SEGUNDA ETAPA	240
APÊNDICE N - REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA - RAT - SEGUNDA ETAPA ..	242
APÊNDICE O - PARÂMETROS DE RUGOSIDADE E RAT	246
APÊNDICE P - RAT.....	250

1 INTRODUÇÃO

O desempenho e durabilidade das edificações são fortemente influenciados pelo sistema de vedação adotado. No Brasil, tradicionalmente, utiliza-se o sistema alvenaria de blocos cerâmicos revestidos com argamassas. Nesse sentido, as Normas Técnicas especificam, de forma isolada, os materiais componentes dos sistemas vedação (substrato) e revestimentos (argamassas). O desempenho real dos revestimentos é influenciado por vários fatores em serviço, muitos deles relacionados à sua aplicação. Em particular, o substrato de aplicação do revestimento é um fator relevante no desempenho em serviço (BELLEI *et al.*, 2021).

A propriedade que relaciona a junção entre o substrato e a argamassa está relacionada principalmente à resistência de aderência à tração. No entanto, já foi observado que argamassas idênticas, em substratos diferentes, com as mesmas condições de aplicação têm apresentado resultados de aderência distintos (TORRES, VEIGA, FREITAS, 2018; VAZ, CARASEK, 2019). Além disso, o tratamento da superfície do substrato também traz diferença nas propriedades de uma argamassa aplicada em um mesmo tipo de substrato, com diferentes tratamentos (COSTA; 2014).

Paes *et al.* (2014), ao compararem o comportamento de argamassas quando aplicadas no mesmo substrato, verificaram diferenças nos valores de absorção de água no caso do bloco de concreto. A porosidade, rugosidade superficial, sucção capilar e umidade inicial dos blocos cerâmicos influenciam a velocidade e a quantidade de água transportada da argamassa fresca para o substrato e, conseqüentemente, modificam a microestrutura desta nessa zona de interface (BELLEI *et al.*, 2021).

Além da diferença em um mesmo tipo de substratos, estudos abordam conceitos desde o momento de lançamento das argamassas nos substratos (adesão inicial), período do sarrafeamento (adesão) (PAES, 2004; PEREIRA, 2007) até o momento no qual se realiza a aferição da resistência de aderência à tração (aderência), em geral especificado aos 28 dias.

A adesão inicial está diretamente ligada às características reológicas da argamassa, é a propriedade que permite o produto permanecer aderido ao substrato momentaneamente após a aplicação no substrato, devido à redução da tensão superficial da argamassa, favorecendo a molhagem do substrato (PAES, 2004).

Já a adesão, conforme Paes (2004), é caracterizada pelo transporte de água da argamassa para o substrato e meio ambiente, que ocorre no período de espera para o sarrafeamento da argamassa, indicando uma diminuição nítida de plasticidade e aumento da consistência desta. Nesse período do sarrafeamento, pode ocorrer movimentação de água retida na argamassa e promover a retração em outros pontos ao longo da área revestida e assim comprometer a área de contato.

A aderência, segundo Carasek (1996), Carvalho Jr. (2005) e Polito (2013), ocorre no estado endurecido e é caracterizada principalmente por ancoragens mecânicas entre o substrato e a argamassa. A aderência de argamassas à base de cimento Portland, conforme os autores, só é possível quando se utilizam materiais com certa porosidade e/ ou rugosidade e é acompanhada por outro fator preponderante para o desempenho do revestimento: a extensão de aderência, que corresponde à razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida entre a argamassa e o substrato.

Diferentemente ao conceito utilizado na construção civil, o termo adesão é empregado em diversas áreas do conhecimento e abrange uma variedade de definições e ideias, dependendo se o assunto é abordado a partir de um ponto de vista molecular, microscópico ou macroscópico, ou quando se fala em formação da interface ou falha do sistema formado (SCHULTZ; NARDIN, 2003).

Aliado aos conceitos de união entre substratos e argamassas, também são estudadas diversas teorias de adesão. Para Sauvage (2016), uma das primeiras teorias da adesão é a teoria da ancoragem mecânica desenvolvida por MacBain, de 1926. Esta teoria considera que a adesão provém de uma ancoragem física da argamassa nos poros presentes na superfície do substrato, aplicável apenas no caso em que a base é porosa e a argamassa é espalhada na superfície adequadamente.

A penetração da argamassa nas porosidades do substrato depende de vários fatores, em particular da tensão superficial e da viscosidade do líquido, bem como da energia superficial do substrato e do tamanho dos poros. No entanto, para que a argamassa penetre nos poros dos substratos, também há de se verificar a compatibilidade da reologia da argamassa, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido, em função da topografia tridimensional dos substratos.

A topografia tridimensional de um substrato apresenta irregularidades quando observada em diferentes escalas, é formada por uma combinação de forma

geométrica, ondulação e rugosidade (TONIETTO *et al.*; 2022; WILLIAMS, 2005). As irregularidades podem ser classificadas em: desvios macrogeométricos (desvios de retitude, de planeza, ondulação etc.) e desvios microgeométricos (rugosidade) (ARNOLD, 2021; TAVARES, 2012; TONIETTO *et al.*; 2021; TONIETTO *et al.*; 2022).

A rugosidade é um termo usado em vários campos da engenharia, sendo o conjunto de irregularidades em uma superfície qualquer. São saliências muito pequenas, conhecidas como picos e reentrâncias definidas como vales (ARNOLD, 2021; TONIETTO *et al.*; 2021; TONIETTO *et al.*; 2022).

Observa-se que as variações de rugosidades dos blocos cerâmicos afetam as propriedades de aderência entre a matriz cimentícia e o substrato (ARNOLD, 2021). Porém, poucas pesquisas analisaram o quanto se difere a rugosidade entre blocos cerâmicos e até mesmo a variação desta em um mesmo material, dificultando assim o conhecimento da real microestrutura da superfície em que os revestimentos serão aplicados.

Dessa forma, as etapas elaboradas no programa experimental desta Tese, no que tange ao estudo da variação de aderência de argamassas de revestimentos, dadas as diferentes rugosidades de blocos cerâmicos, foram desenvolvidas em conjunto com pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Unisinos (PPGEC), mais especificamente com o grupo de pesquisa em Materiais e Reciclagem (GMat) e também com o Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCA).

Em paralelo, e complementar a esta tese, foi realizada e defendida a Tese do aluno Leandro Tonietto (2021), intitulada como “Um novo método para avaliar os coeficientes de rugosidade e áreas de vale de superfícies adquiridas por *scanner* a laser”, em que o pesquisador desenvolveu um programa computacional para avaliar, de forma quantitativa, os dados obtidos no programa experimental do presente estudo. E a Tese realizada e defendida pela aluna Daiana Cristina Metz Arnold (2021), intitulada “Contribuição ao estudo dos fatores intervenientes na aderência de revestimentos de argamassa: análise quantitativa da rugosidade de substratos cerâmicos rugosidade dos blocos cerâmicos”. Como forma parcial de validação dos dados obtidos nessa pesquisa, foram publicados, no decorrer do trabalho, dois artigos. (ARNOLD *et al.*, 2021; TONIETTO *et al.* 2022).

Assim, faz-se importante o estudo dos mecanismos da aderência das argamassas de revestimentos em diferentes rugosidades de substratos, incluindo

análises da superfície e microestruturais da interface de união com a argamassa de revestimento (SADOWSKI; MATHIA, 2016).

Diante do que foi exposto, esta tese justifica-se por contribuir com a análise da aderência em diferentes rugosidades de substratos, numa análise restrita a uma única pasta produzida de um mesmo cimento Portland. As Normas Técnicas atuais especificam somente a resistência de aderência à tração quando se trata da interface revestimento argamassado com substratos, as demais propriedades são classificatórias e referem-se somente à argamassa e ou substrato, ou seja, não conseguem explicar a aderência resultante da interação entre os dois materiais.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema deste trabalho se restringe ao estudo da influência da rugosidade de substratos cerâmicos e da área de interface entre substratos cerâmicos e revestimento cimentício e de sua variabilidade na aderência entre uma única pasta, proveniente de um mesmo cimento Portland, aplicada a cinco substratos cerâmicos com diferentes rugosidades.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA E HIPÓTESES

A especificação de uma argamassa depende da função que ela deve desempenhar, do local em que será utilizada (revestimentos internos ou externos), dos tipos e diferentes substratos, das zonas bioclimáticas ou orientações de fachadas (OLIVEIRA, 2017), além da forma de aplicação e do microclima por ocasião da aplicação e cura.

No que compreende as exigências normativas, a ABNT NBR 13281:2005 é uma norma que contempla a classificação das argamassas quanto aos requisitos exigíveis quando utilizadas em assentamento e revestimento de paredes e tetos, sem considerar os diferentes substratos.

Conforme Carvalho Jr. (2005), Masuero (1993) e Polito (2013), o mecanismo de aderência entre a argamassa e o substrato cerâmico ainda não é bem compreendido e muitas teorias são propostas para explicá-lo. Casali (2008) comenta que existem muitos fatores que influenciam na resistência de aderência e, possivelmente, nos estudos apresentados, não foi possível separar isoladamente a

variável da textura superficial, o que afeta a aderência e a interação entre argamassa e o substrato.

Já Costa (2014) afirma que pouco tem sido explorado no que se refere à composição e distribuição de partículas de cimento e finos quando em contato com a superfície do substrato, além da influência destes nos mecanismos de aderência, o que requer técnicas de caracterização de maneira sistêmica, que demonstrem a interação entre os materiais constituintes das argamassas e as superfícies dos substratos.

Nesse contexto, a presente pesquisa buscou viabilizar um programa experimental que avalie e responda as hipóteses a seguir:

- a) há variações significativas na resistência de aderência à tração em virtude das distintas rugosidades de blocos cerâmicos, obtidos a partir da mesma mistura argilosa entre blocos cerâmicos;
- b) distintas olarias apresentam blocos cerâmicos com diferentes rugosidades em suas superfícies que afetam de forma significativa a aderência de revestimentos de argamassas;
- c) existem parâmetros médios quantitativos de rugosidade que possibilitam associar a resistência de aderência à tração entre uma argamassa e blocos cerâmicos com distintas rugosidades;
- d) dimensões reduzidas de amostras possibilitam explicar, de forma quantitativa, as resistências de aderência à tração de uma argamassa ao substrato, devido a região de análise apresentar menor quantidade de defeitos e menor variabilidade na rugosidade da superfície dos blocos cerâmicos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver análises da influência da rugosidade e da dimensão da região de interface entre substratos cerâmicos e revestimento cimentício na resistência de aderência à tração, permitindo associar parâmetros de rugosidade à aderência.

1.3.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos desta pesquisa, destacam-se:

- a) quantificar e classificar a diferença de rugosidades na superfície de distintos substratos de blocos cerâmicos;
- b) desenvolver um método experimental para análise da aderência em áreas de interface de dimensões de 10x10mm;
- c) validar os parâmetros de rugosidade, A_{mv} e R_{vm} , propostos em Tonietto *et al* (2022), para explicar as diferenças de resultados de resistência de aderência à tração em distintos substratos cerâmicos;
- d) determinar a resistência de aderência à tração de uma pasta de cimento Portland em substratos cerâmicos com diferentes rugosidades;
- e) avaliar a dispersão da resistência de aderência à tração em um mesmo substrato, proveniente de um mesmo lote, a partir de ensaios em diferentes escalas e diferentes dimensões de áreas de interface;
- f) adaptar um método experimental para determinar a rugosidade dos blocos cerâmicos em uma área de interface superior a 10x10mm.

1.4 JUSTIFICATIVA

Esta tese justifica-se por contribuir com o estudo da influência da rugosidade de blocos cerâmicos e da área de interface de blocos cerâmicos e revestimento cimentício nos mecanismos de aderência de revestimentos de argamassas, atendendo à complexidade e dificuldade em identificar os fatores que afetam a interação entre esses substratos e as argamassas de revestimentos.

Normas Técnicas tratam, de forma isolada, tanto as argamassas quanto os substratos, além disso, a correlação entre as propriedades influentes nas argamassas de revestimento (retenção de água, ar incorporado, tensão de cisalhamento, *etc*) e a rugosidade presente nos substratos em que elas são aplicadas na resistência de aderência destes sistemas têm sido pouco abordadas (STOLZ, 2011).

Conforme Costa (2014), a aderência é determinada pelo contato entre as superfícies, o que torna difícil correlacioná-la com uma propriedade isolada, seja do substrato ou da própria matriz, embora estas possam influenciar o contato.

Enfatiza-se que diversos autores concordam que a absorção de água do substrato é o principal responsável pela aderência substrato e argamassa (CARASEK, 1996; CARVALHO JR., 2005; CASALI, 2008; DÉTRICHÉ; MASO, 1986; GROOT, 1997; LAWRENCE; CAO, 1988; PAES, 2004; PALMER, PARSONS, 1934; POLITO, 2013; SCARTEZINI, 2002; SUGO, 2000; VOSS, 1933).

Contudo, a influência da rugosidade da superfície do substrato na aderência da argamassa é um dos pontos que provoca controvérsias (BARBOSA, 2010; CARASEK, 1996; COSTA 2014; COURARD, 2000; GALLEGOS, 1995; GARBACZ; COURARD; KOSTANA, 2006; SUGO, 2000).

Barbosa (2010) explica que a maioria dos trabalhos não avalia as propriedades reológicas juntamente com as características rugosas da base, ou seja, uma argamassa com elevada viscosidade pode ter maior dificuldade para penetrar nas reentrâncias rugosas, diminuindo a área de contato com a base, o que pode reduzir a extensão de aderência.

A influência da textura superficial para os diferentes substratos na resistência de aderência é amplamente discutida, mas nem sempre os resultados são conclusivos (BARBOSA, 2010; COSTA 2014). As autoras acrescentam que a resistência de aderência entre argamassa e substrato depende da interação entre as duas partes, sendo a adesão inicial o processo pelo qual ocorre o contato entre matriz e substrato, com a percolação da parcela líquida através dos poros e posteriormente, ocorre o processo de endurecimento e travamento mecânico na interface denominado como aderência (ANTUNES, 2005; CARASEK, 1996; PAES, 2004).

No geral, as pesquisas que tratam da aderência em argamassas de revestimentos realizam análises em escala macroscópica, poucos avaliam a interface pasta/substrato em mesoescala, microescala e escala molecular.

Ressalta-se que a aderência caracterizada somente pela resistência de aderência à tração exige um valor mínimo de resistência para revestimentos em paredes externas, internas e tetos, diferenciando o acabamento de pintura e cerâmica, conforme a NBR 13749 (ABNT, 2013), o que representa análise em macroescala.

Neste contexto, vale ressaltar que existe, no mercado da construção, uma infinidade de possibilidades para especificação, tanto de substratos quanto de argamassas, o que exige um maior entendimento da interação e da microestrutura de interface entre o substrato e o revestimento, que influencia os mecanismos de adesão e aderência.

As pesquisas referentes aos revestimentos de argamassas carecem de consolidar o entendimento da aderência na interface entre o composto da argamassa (aglomerante, agregados miúdos, finos, aditivos e água) e o substrato (anisotropia de superfície, diferentes matérias-primas e processos de produção) e compatibilidade entre os dois sistemas. Uma forma de complementar o entendimento é o estudo realizado em diferentes escalas, o que se denomina de análises multiescala.

Uma análise multiescala engloba diversos métodos experimentais capazes de caracterizar os sistemas produzidos com distintas matérias-primas, o que exige um maior entendimento da interação e da microestrutura na região de interface entre o substrato e o revestimento que influencia os mecanismos de aderência, colaborando com as teorias relacionadas à escala na qual o substrato e a matriz cimentícia interagem: macroscópica, microscópica, molecular ou atômica.

Nesse sentido, essa pesquisa buscou trabalhar métodos que conseguissem caracterizar, de forma quantitativa, a rugosidade de blocos cerâmicos e, a partir disto, definir parâmetros de rugosidade e a posteriormente correlacioná-los a resultados de resistência de aderência à tração.

As inovações desse estudo foram de utilizar parâmetros de rugosidade para explicar a resistência de aderência e identificar a influência da dimensão da região de interface, em que é realizada a determinação da resistência de aderência à tração de revestimento cimentício quando aplicado em substratos de diferentes rugosidades, e dessa forma demonstrar o impacto da heterogeneidade existente na superfície dos substratos cerâmicos na variabilidade da aderência de uma matriz cimentícia sobre o bloco cerâmico.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Há séculos, no Brasil, os sistemas construtivos adotados, na maioria dos casos das edificações, são vedações constituídas de alvenarias revestidas com argamassas, apesar do desenvolvimento tecnológico dos sistemas industrializados e racionalizados.

Os parâmetros que os materiais constituintes devem apresentar, em referência ao sistema de vedação e de revestimento, em conformidade com as exigências das Normas Técnicas no geral, são em macroescala e são caracterizados de forma isolada, sem análise de compatibilidade entre eles e da região de interface produzida pela aderência entre substrato e a argamassa.

A propriedade que relaciona a adesão entre o substrato e a argamassa é a resistência de aderência à tração. De acordo com Phan (2012), a propriedade adesiva deve ser considerada em pelo menos três estágios: estado fresco, plástico e endurecido. Assim sendo, estudos abordam conceitos referenciados desde o momento de lançamento das argamassas nos substratos (adesão inicial), período de espera ao sarrafeamento (adesão) até o tempo decorrido de 28 dias (aderência), no qual se realiza a aferição da resistência de aderência à tração (CARASEK, 1996; PAES, 2004).

No caso dos sistemas de revestimentos argamassados, duas teorias são destacadas: ancoragem mecânica e a química. A primeira, conforme Sauvage (2016), foi desenvolvida por MacBain, de 1926, em que considera que a aderência provém de uma ancoragem física da argamassa nas rugosidades presentes na superfície do substrato.

Já a aderência química refere-se às ligações químicas formadas na interface substrato/argamassa (COSTA, 2014), na qual a maioria dos estudos creditam que as forças capilares e forças intermoleculares de Van der Waals mantenham as moléculas unidas. Se forem necessárias forças capilares, como explicar a aderência nas superfícies hidrofóbicas e lisas, uma vez que esta depende da proximidade e da área de contato entre as superfícies? (COSTA, 2014; KENDALL, 2001; WU, 1982).

No caso das forças intermoleculares de Van der Waals, há uma necessidade de compreensão da polaridade das superfícies. Para Gaspar, Silva e Flores-Colen (2013), a ligação Van der Waals contribui para a aderência da argamassa, mas com uma parcela menor. No entanto, Grigoriadis (2016) cita que o efeito do

intertravamento mecânico é determinado pela rugosidade do substrato, enquanto a aderência é criada pelo desenvolvimento de ligações químicas entre o substrato e a argamassa. Embora a aderência se desenvolva à medida que a argamassa cura, a contribuição do intertravamento mecânico permanece o mesmo com a idade.

Para Sauvage (2016), a penetração da argamassa nas porosidades ou rugosidades do substrato depende de vários fatores, em particular a tensão superficial e a viscosidade do líquido, bem como a energia superficial do substrato e o tamanho dos poros, porém nesse caso, a teoria é aplicável apenas no caso em que o substrato apresenta uma superfície rugosa e a argamassa molha a superfície adequadamente. Entretanto, no caso de uma superfície perfeitamente lisa, essa teoria não é aplicável e a explicação da associação requer outros entendimentos.

Para Schultz e Nardin (2003), uma das principais dificuldades no estudo dos mecanismos de aderência reside no fato de o sujeito estar na fronteira de vários campos científicos, incluindo ciência macromolecular, físico-química de superfícies e interfaces, ciência dos materiais, mecânica e micromecânica da fratura e reologia.

Dessa forma, as pesquisas que tratam dos revestimentos de argamassas carecem de consolidar o entendimento da aderência nos estados fresco e plástico e no estado endurecido em diferentes escalas, e assim gerar uma melhor compreensão da interface entre a argamassa, uma matriz multifásica e o substrato caracterizado por anisotropia de superfície, como também os diferentes pontos de absorção de água que são gerados por diferentes matérias-primas e processos de produção, e assim compreender a compatibilidade entre os dois sistemas.

2.1 TEORIAS DA ADESÃO

No caso desse estudo, a pasta de cimento Portland é o adesivo, os substratos são blocos cerâmicos com diferentes rugosidades e a interface de adesão será formada sempre que houver contato entre a argamassa no estado fresco e o substrato. Neste contexto, alguns estudos sugerem que as partículas finas imersas no fluido podem migrar em direção ao substrato, depositando-se na superfície, após o contato inicial da argamassa no substrato (COSTA, 2014; HU; STROEVEN, 2004; SCRIVENER; CRUMBIE; LAUGESSEN, 2004).

As teorias recentes são postuladas para mecanismos de ligação adesiva, pois, muitas vezes, é difícil atribuir a atividade adesiva a um único mecanismo. É

provável a ocorrência da combinação de diferentes mecanismos responsáveis pela adesão. Além disso, o papel de cada mecanismo pode variar para diferentes sistemas de ligação adesiva.

Ebnesajjad (2010) colaborou com as teorias relacionadas à escala na qual o substrato e o adesivo interagem: macroscópica, microscópica, molecular ou atômica, conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Modelo teórico e escalas de estudos relacionados à aderência

Modelo teórico tradicional	Modelo teórico recente	Ocorrência da aderência	Escala
Intertravamento mecânico		A aderência ocorre através do intertravamento mecânico do adesivo na superfície do sólido.	Macroescala, Mesoescala e Microescala
Teoria da adsorção - a aderência é influenciada por comportamentos reológicos, molhamento e energia de superfície.	Teoria da ligação química	A aderência é resultante das forças de atração moleculares entre as fases: ligações primárias – iônicas; covalentes e metálicas – e secundárias – forças intermoleculares, também denominadas forças de Van der Waals.	Atômica
	Teoria do molhamento	O resultado de um bom molhamento é uma maior área de contato entre os substratos e o adesivo sobre o qual as forças de adesão podem agir.	Molecular
	Teoria das ligações interfaciais	Na região de contato do adesivo e sólido, há a formação de uma interface cujas propriedades diferem da estrutura interna das fases envolvidas.	Molecular
Teoria da difusão		Aderência é oriunda da difusão de íons, moléculas, partículas entre o adesivo e o substrato.	Molecular
Teoria eletrostática		A adesão ocorre pela transferência de elétrons no contato interfacial.	Atômica

Fonte: Adaptado de Ebnesajjad (2010).

As teorias da aderência estudadas por Carasek (1996), Carvalho Jr. (2005), Polito (2013) e Costa (2014) explicam que as forças responsáveis por esta migração da pasta de cimento Portland para o substrato incluem a gravidade, as forças eletrostáticas, o arrasto hidrodinâmico provocado pela absorção de água nos substratos, devido às forças capilares, e a adsorção de partículas de dimensão

coloidal. A seguir são descritos os principais mecanismos de adesão conforme as teorias citadas por Ebnesajjad (2010).

2.1.1 Adesão por intertravamento mecânico

Muitos estudos apontam que, para que ocorra o intertravamento mecânico, é necessário o aumento da rugosidade e assim, tradicionalmente, aplica-se o chapisco ao substrato antes de aplicar a argamassa, tendo por objetivo aumentar a área de contato efetivo (NABAIS, 2015; PEREIRA, 2014).

Contudo, Stoltz (2015) explica que o fato de criar a rugosidade não garante que a área de contato entre a argamassa e o substrato sofrerá incremento, pois algumas rugosidades não são compatíveis com a reologia das argamassas aplicadas sobre elas, gerando falhas na interface pela falta de penetração da argamassa nas irregularidades criadas no substrato.

Sendo assim, é relevante salientar que a topografia de um substrato pode ser analisada em várias escalas e, portanto, a extensão de aderência também. O intertravamento micromecânico entre duas fases é afetado pela microtopografia da superfície, como também pelo tamanho das moléculas de cobertura ou penetração do adesivo (GROOT, 1997). Esta teoria propõe que o caráter mecânico, isto é, a penetração e a solidificação da argamassa dentro das irregularidades do substrato, são a maior fonte de aderência, explicada quando algum material líquido solidifica *in situ* para formar um filme sólido nos poros (PACKHAM, 2017).

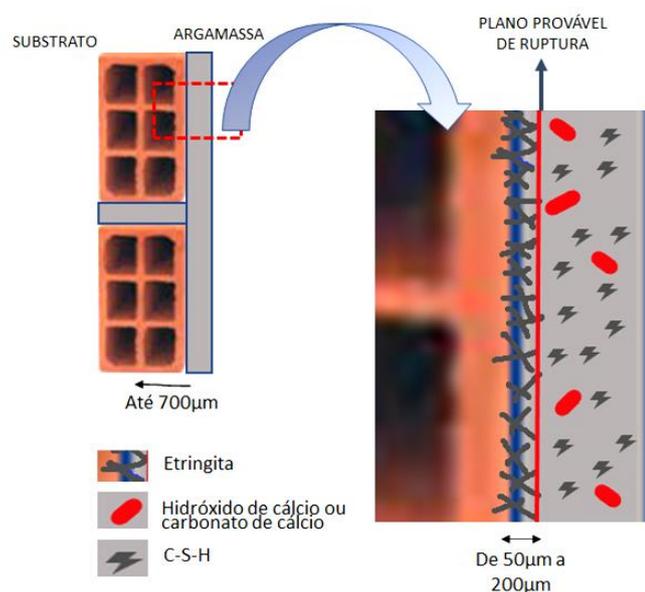
Packham (2017) comenta que essa teoria foi amplamente rejeitada nas décadas de 1950 e 1960 por motivos verificados em ranhuras de superfícies que, em alguns casos, diminuiriam a aderência. Assim, há uma tendência de responsabilizar a maior aderência às superfícies rugosas devido ao aumento da área de superfície disponível para esta ocorrer. No entanto, não se discutia a compatibilidade da reologia das argamassas juntamente com as rugosidades de forma quantitativa, o que pode causar, ou não, acesso das argamassas ao substrato.

A penetração da argamassa nos poros e vales do substrato pode representar uma maior área de contato para obtenção de ligações químicas, as quais são as maiores responsáveis pela aderência, não deixando de existir obviamente uma parcela referente ao intertravamento mecânico (MASUERO, 1993).

O modelo de intertravamento mecânico, proposto por MacBain e Hopkins (1925), concebe o intertravamento do adesivo nos vales, poros e rugosidades da superfície sólida como o principal fator na determinação da resistência de aderência (SCHULTZ; NARDIN, 2003). Neste contexto, há de se considerar também a absorção capilar, que desempenha um papel importante no efeito da ancoragem, pois atrai pasta de cimento para pequenas cavidades do substrato, de forma que a extensão desse efeito depende da condição de umidade do substrato e da viscosidade da argamassa (BISSONNETTE *et al.*, 2017).

O que Carasek (1996), Carvalho Jr. (2005), Polito (2013) e Scartezini, (2002) explicam é que o intertravamento mecânico, no caso de substratos porosos e argamassas, ocorre em virtude da formação de etringita nos poros do substrato, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Representação esquemática dos mecanismos de intertravamento mecânico



Fonte: Adaptado de Carasek (2010) e Polito (2013).

Os estudos de Chase (1984), Lawrence e Cao (1988), Voss (1933) e conforme Scartezini (2002) apresentaram que a aderência se dá através da formação de uma camada rica em cálcio na interface, com a precipitação de cristais de hidróxido de cálcio e, às vezes carbonato de cálcio, acompanhada da deposição de silicatos de cálcio hidratado (C-S-H) e cristais de trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita). Já Dupin, Detriché e Maso (1988), Farran (1956) e Grandet

(1971) mostraram que a zona de contato entre as argamassas e substratos cerâmicos é composta principalmente por cristais de etringita (CARASEK, 1996; SCARTEZINI, 2002).

Polito (2013) analisou a aderência da argamassa em diferentes distâncias da zona de contato com o substrato, o que levou à conclusão de que, à medida que se aproxima do substrato, maior será a concentração de etringita e menor a de portlandita. Este fato é explicado pelo processo de hidratação do cimento, em que os íons de sulfato são os primeiros a serem liberados e sugados pelo substrato poroso, e assim levados à interface, onde se depositam sobre os grãos de aluminato tricálcico e iniciam a formação dos cristais de etringita (CARASEK, 1996).

Os produtos de hidratação dos aglomerantes da pasta penetram a profundidades entre 0,10 e 1,60 mm no interior do substrato. Carasek (1996) e Polito (2013) citam que não existe evidência de penetração de C-S-H, hidróxido de cálcio e carbonato de cálcio. Ao se misturar o cimento Portland com a água, a gipsita dissolve-se e libera íons sulfato (SO_4^{2-}) e cálcio (Ca^{2+}).

Em seguida, são liberados íons aluminato (AlO_4^-) e cálcio (Ca^{2+}), provenientes da dissolução do C_3A do cimento. Através do efeito de sucção imposto pelo substrato poroso, estes íons são carregados para o interior dos poros. Com a precipitação da etringita, os poros são preenchidos prioritariamente por ela, restando menos espaço para a precipitação de outros produtos de hidratação do cimento nesta região.

Desta forma, identifica-se uma predominância de cristais de etringita nas regiões próximas à interface argamassa/substrato (CARASEK, 2007; POLITO, 2013). Os autores destacam que o rompimento da aderência não ocorre exatamente na interface (região rica em etringita) e sim em uma camada adjacente, com aproximadamente 50 a 200 μm (Figura 1). Assim, trata-se de uma falha de coesão da argamassa próxima à interface e não uma falha de aderência ao substrato.

Existem conexões entre rugosidades e argamassas de reologia adequadas em termos da teoria mecânica (PACKHAM, 2017). Schultz e Nardin (2003) enfatizam que um alto nível de adesão deve ser obtido melhorando a morfologia da superfície e as propriedades físico-químicas da superfície de substrato e argamassa. Contudo, conforme os autores, na maioria dos casos, este aprimoramento da aderência por intertravamento mecânico pode ser atribuída simplesmente pelo aumento da área

interfacial devido à rugosidade, desde que sejam cumpridas as condições de molhamento para permitir a penetração da argamassa em poros e cavidades.

A ocorrência do intertravamento mecânico depende da estrutura física da superfície do substrato e da capacidade de molhamento do produto aplicado sobre o substrato que, ainda no estado fresco, deve ser capaz de penetrar nas irregularidades superficiais (poros e rugosidade) cumprindo a ação de ancoragem após a solidificação (COSTA, 2014).

Quanto aos poros, Rato (2006) cita que a rede de poros de materiais cimentícios é complexa e tortuosa, resultante das definições tomadas na dosagem, produção e cura, além das condições de aplicação e das características dos substratos que recebem esses materiais. Além disso, durante o processo de produção e endurecimento das argamassas, os poros de diferentes dimensões são formados.

Contudo, há uma distinção do tamanho dos poros do substrato que contribui para a sucção, definidos os poros ativos que apresentam diâmetros compreendidos entre 0,10 μm e 5 μm (SCARTEZINI, 2002).

A Teoria dos Poros Ativos é um modelo, inicialmente proposto pelos pesquisadores do INSA, que indica a distinção dos poros no sistema argamassa/substrato, de acordo com a sua capacidade de absorção e retenção de água (PRETTO, 2007; SCARTEZINI, 2002).

Os poros inferiores a 0,10 μm absorvem quantidades insignificantes de água e os superiores a 5 μm não possuem força capilar suficiente para vencer os poros existentes na matriz cimentícia (COSTA, 2014; GALLEGOS, 1995). Não obstante, todos os poros irão contribuir para a retirada de água da matriz se estes não forem obstruídos por partículas sólidas, ou quando o substrato saturar antes do equilíbrio (COSTA, 2014).

No entanto, se a sucção for excessiva, pode faltar água ao sistema para hidratação dos ligantes, o que pode prejudicar a aderência. Também a sucção pelo substrato pode proporcionar efeitos benéficos na constituição da aderência, pois, além da redução água/sólidos na interface, pode levar à aproximação das partículas devido à ação das forças capilares, produzindo uma interface menos porosa e sem a orientação dos cristais de hidróxido de cálcio (COSTA, 2014). Um questionamento é se de fato a ação dos poros ativos dos substratos e argamassas melhora a área de

contato ou cria bolhas de ar, prejudicando, assim, a área de contato próximo aos pontos de sucção.

Verifica-se que existe, aliada à aderência mecânica, a aderência química. Packham (2017) comenta que, na década de 1730, Newton, já argumentava que a adesão era resultado de "atrações muito fortes" entre as partículas dos corpos, de forma que o intertravamento mecânico não pode ser considerado o único responsável pela aderência, uma vez que se deve considerar os fatores que ocorrem em nível molecular na interface adesivo/substrato. Também não há uma superfície de substrato única, de modo que deve ser caracterizada e compatível com o adesivo.

Nesse sentido, Costa (2014) indica que a aderência não pode ser atribuída somente à ancoragem mecânica, pois a quantidade de material nos poros é pequena, mesmo se todos os poros fossem preenchidos por partículas. Além disso, há de se examinar que ocorrem forças de atração e repulsão entre as partículas de cimento durante a hidratação. Sobre isso, Maciel (2017) explica que o aumento das forças de atração é mais intenso do que as forças de repulsão, provocando o aumento de área específica do grão, que tem maior influência do que a diminuição da energia de interface entre sólido e o meio para a interação entre as partículas. Esse balanço de forças é o que gera o aumento da rigidez da pasta ao decorrer da reação (MACIEL, 2017).

2.1.2 Adesão por adsorção

A base desta teoria é que o adesivo irá aderir ao substrato através dos componentes interatômicos e pelas forças intermoleculares estabelecidas na interface, desde que um contato íntimo seja alcançado (SCHULTZ; NARDIN, 2003).

A teoria da adsorção enfatiza o ponto em que o adesivo e o substrato entram em contato com forças de atração, de modo que, se a extensão do molhamento for boa, essas forças, sejam pelas ligações primárias, como forças covalentes ou secundárias, são consideradas suficientes para uma alta adesão (PACKHAM, 2017).

A teoria das ligações interfaciais pode ser explicada, no caso do trabalho de adesão, pela energia de ligação interfacial entre sólido e líquido, estimada pela

equação de Young e Dupré (CASALI, 2008; COSTA, 2014), na qual a adesão é decorrente da tensão superficial líquido/ar e do ângulo de contato.

O ângulo de contato é uma medida conveniente da molhabilidade de uma superfície sólida por um líquido. A tensão superficial é a energia requerida para se aumentar a superfície de um material levando-se em consideração as forças superficiais contrárias a esse esforço imposto ao material (GONÇALVES, 2004).

Também, Paes (2004) explica a importância da adsorção física, que atua no mecanismo de absorção capilar, de forma que a fixação da água da argamassa fresca no substrato poroso ocorre por meio desta adsorção, em que as moléculas adsorvidas de água mantêm-se fixas à superfície do substrato (adsorvente) por intermédio, principalmente, das forças de Van der Waals.

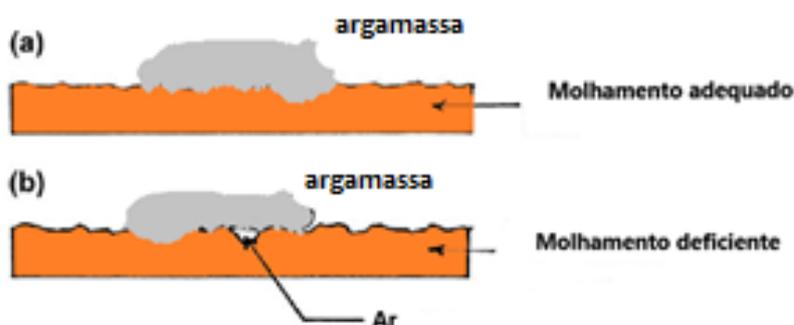
2.1.2.1 Molhamento

Essa teoria propõe que a aderência resulta do contato molecular entre dois materiais e as tensões superficiais que se desenvolvem. O primeiro passo na formação do vínculo, segundo Ebnesajjad (2010), é o desenvolvimento de forças interfaciais entre a argamassa e os substratos. De forma que, para uma argamassa molhar uma superfície sólida, ela requer uma energia de superfície inferior à energia de superfície do sólido. A molhagem é a capacidade de o fluido de se espalhar sobre a superfície na forma de filme fino. Os tipos de molhamento podem ser divididos em três (ROSEN, 1978; STOLZ, 2015):

- a) por espalhamento: um líquido em contato com um substrato se espalha e expulsa outro fluido, como o ar, da superfície. Para este molhamento acontecer espontaneamente, a energia livre do substrato deve diminuir durante o espalhamento;
- b) por adesão: um líquido que originalmente não estava em contato com o substrato passa a fazer contato e adere a ele pela ação de uma “força propulsora” dependente das tensões sólido/ar, líquido/ar e sólido/líquido;
- c) por imersão: um substrato que inicialmente não estava em contato com um líquido é imerso completamente pelo líquido.

Um bom resultado de molhamento ocorre quando a argamassa flui para os vales e poros na superfície do substrato, demonstrado por um perfeito espalhamento da argamassa. Um molhamento pobre resulta, quando a argamassa passa sobre o vale, defeitos interfaciais, assim reduzindo a resistência adesiva (Figura 2) (EBNESAJJAD, 2010).

Figura 2 - Esquema de molhamento: a) adequado; b) deficiente

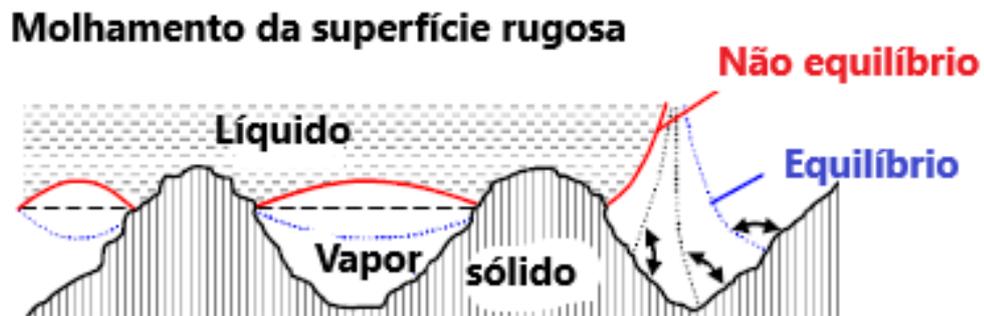


Fonte: Adaptado de Ebnesajjad (2010).

Entretanto, há de se avaliar a condição de molhabilidade das superfícies, pois pode ser fortemente afetado pela rugosidade da superfície (BELAUD *et al.*, 2014). O aumento da interface líquido-ar é uma das causas dos defeitos interfaciais da fase sólida após a estabilização do líquido, de forma que o fluido poderá penetrar nos poros ou ficar sobre essas irregularidades, alterando a área de contato efetivo (COSTA, 2014).

Conforme Masuero (1993), a rugosidade excessiva, substratos que apresentam superfícies com vales e picos mais altos, exibem uma maior superfície de contato, podem prejudicar o molhamento total superficial e dificultar a aplicação de uma camada homogênea da argamassa empregada, pois as barreiras formadas pelos picos formados nas rugosidades do substrato podem ocasionar a falha do contato interfacial entre a matriz cimentícia e o substrato, uma vez que a linha de contato pode ser parada por essa barreira e o ângulo de contato aparente será maior. Assim, quando a linha de contato atingir o ponto máximo do próximo pico de rugosidade, o equilíbrio será perdido e, devido à tensão superficial e à força da gravidade, a linha de contato avançará, molhando o vale até próximo do pico e assim entra em estado de equilíbrio (Figura 3) (KUBIAK; MATHIA; WILSON, 2009).

Figura 3 - Diagrama esquemático de molhamento de superfície rugosa *versus* o perfil medido da superfície real no material cerâmico

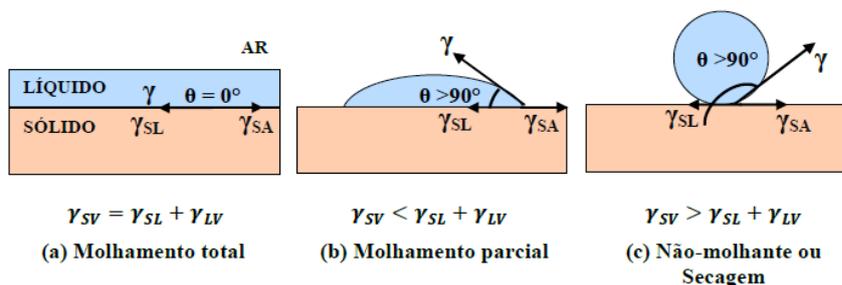


Fonte: Adaptado de Kubiak, Mathia, Wilson (2009).

A princípio, o efeito favorável da rugosidade seria o aumento real da área de contato da aderência da argamassa ao substrato, e não ao maior intertravamento mecânico entre as partes. Já Cassie, Baxter (1944) e Costa (2014), afirmam que uma gota não molha toda a extensão de contato de uma superfície rugosa, deste modo, parte da interface sólido-líquido é composta por uma interface líquido-ar, o que causaria perda de aderência entre substrato e argamassa.

O parâmetro utilizado para medir o molhamento de uma superfície é o ângulo de contato que representa diferentes comportamentos de molhabilidade de uma gota sobre uma superfície, formado na interface entre a superfície sólida e uma gota de líquido. Para Farias (2017), a tendência, ou não, de um líquido se espalhar sobre o substrato é maior, quanto maior a energia superficial, ou seja, melhor será a molhabilidade quando líquido se espalhar por uma área mais ampla. Um ângulo de contato pequeno (inferior a 90°) (Figura 4) indica que a superfície sólida está bem molhada, portanto hidrofílica, e um ângulo de contato maior que 90° indica que o fluido não se espalha sobre a superfície e esta é hidrofóbica (SANTOS, 2018).

Figura 4 - Condições de molhamento: a) Molhamento total (superfície super-hidrofílica); b) Molhamento parcial (superfície hidrofílica) e c) Não molhamento (superfície hidrofóbica)



Fonte: Adaptada de Costa (2014).

A rugosidade tem implicações importantes no molhamento de superfícies. Ângulos menores que 90° são reduzidos pela rugosidade, já o ângulo maior do que 90° é aumentado pela rugosidade. Se o ângulo de contato é grande e a superfície suficientemente rugosa, o líquido pode aprisionar o ar, gerando um efeito de superfície plana (STOLZ, 2015). Contudo, no caso dos blocos cerâmicos, a formação do ângulo de contato pode não representar uma boa indicação de molhabilidade, uma vez que esses materiais apresentam uma sucção de água alta e que poderá prejudicar o resultado do experimento.

Uma discussão importante sobre a aferição do ângulo de contato foi desenvolvida por Kubiak e Mathia (2014). Os autores avaliam que a determinação do ângulo de contato estático é realizada de maneira unidirecional e isotrópica, e que ocorrem diferentes geometrias em áreas tridimensionais. Além disso, as ranhuras dos blocos cerâmicos, no geral e em macroescala, são paralelas ao seu comprimento e perpendiculares a sua largura, o que provavelmente levará a uma molhabilidade diferente dependendo do local de aferição. Sendo assim, provavelmente a água apresentará uma tendência de se espalhar mais longitudinalmente do que na direção transversal.

Nesse sentido, a molhabilidade em geral pode ser afetada pela rugosidade física e heterogeneidade do substrato, portanto, é importante ressaltar que ambos os fatores são importantes e as propriedades de aderência devem ser consideradas especialmente na análise de molhabilidade anisotrópica. Dessa forma, ressalta-se que o ângulo de contato pode apresentar resultados semelhantes para superfícies

com diferentes rugosidades e assim não conseguir explicar os mecanismos de aderência.

Nesta sequência, vale salientar que algumas substâncias químicas, tais como aditivos plastificantes, incorporadores de ar, retentores de água, mudam o ângulo de contato, de um valor maior de 90° para outro menor que 90° (CARASEK, 1996; CASALI, 2008; COSTA, 2014). Mas, inversamente, segundo os mesmos autores, agentes impermeabilizantes tornam o ângulo de contato entre a água e o substrato maior que 90° .

Sobre isto, Costa (2014), ao empregar hidrofugantes em seus estudos, ressalta que a aplicação do silano não forma um filme contínuo em toda a superfície, mas altera a composição química das superfícies, o que pode afetar a aderência. Os resultados da autora confirmaram que as bases hidrofugadas possuem maior resistência de aderência em relação à natural, 47% superior, pois ocorre uma maior deposição de partículas na superfície do substrato com o uso dos hidrofugantes.

Costa (2014) utilizou um hidrofugante constituído por um silano solúvel em água. Já Pagnassut (2013) empregou parafina e seus resultados mostraram prejuízos à aderência. O interessante é que os produtos empregados por esses autores relatam ângulos de contatos superiores a 90° , de forma que o fato de o molhamento adequado não ser explicado pela formação de ângulos de contato menores que 90° , elucida uma melhor molhabilidade dos substratos e gera benefícios à aderência.

Costa (2014) cita que o efeito químico da presença de hidrofugantes na interface precisa ser melhor investigado. Para a autora, o ganho de aderência provavelmente é resultado do fato de o hidrofugante repelir a água da interface, o que leva o espaço a ser preenchido por finos, densificando a interface. A hipótese desse estudo é que os hidrofugantes devem reduzir a sucção de água pelo substrato nos momentos iniciais de contato da argamassa e assim promover uma maior hidratação dos compostos do aglomerante e fortalecer a zona de interface matriz cimentícia e substrato. Contudo, há de se quantificar a rugosidade do substrato e promover uma reologia adequada da argamassa para benefício da aderência.

2.1.2.2 Ligações químicas

Conforme Ebnesajjad (2010), ligações covalentes e iônicas são exemplos de ligações químicas que fornecem valores mais altos de aderência. Ligações químicas covalentes podem se formar através da interface e provavelmente ocorrerão em ligações cruzadas dos adesivos e revestimentos termoendurecíveis.

As interações que mantêm a argamassa e o substrato juntos também podem receber contribuições do intertravamento mecânico, difusão ou mecanismos eletrostáticos. Logo, as compreensões das funções termodinâmicas da superfície, especialmente da energia superficial, são consideradas fundamentais para o entendimento, tanto da formação quanto da falha de ligações adesivas (PACKHAM, 2017).

Nesse sentido, Costa (2014) cita que as forças intermoleculares (forças de Van der Waals) são as principais responsáveis pela aderência da maioria dos materiais multifásicos. Quando se trata das forças primárias, a autora comenta que são constatadas pelas alterações morfológicas dos produtos hidratados na interface, principalmente pela quantidade e orientação de cristais de hidróxido de cálcio em matrizes produzidas com agregados reativos.

Costa (2014) relacionou a aderência envolvendo ligações químicas com o uso de silanos como tratamento superficial de diferentes tipos de substratos, resultando em um aumento da aderência, devido à formação de ligações covalentes na interface substrato-matriz. Ao estudar superfícies topográficas lisas, em escala micro, sugeriu que a aderência é basicamente química, não havendo parcela mecânica, considerando não haver qualquer tipo de penetração da matriz cimentícia no substrato.

No entanto, é relevante que mesmo estes substratos apresentam porosidades internas e de superfície, e desta forma absorvem a matriz cimentícia, permitindo o intertravamento mecânico, de maneira que parte da matriz ou da água de amassamento contendo o ligante é succionada pelos poros do substrato onde ocorre a consolidação (COSTA, 2014).

2.1.2.3 Ligações interfaciais de argamassas aplicadas sobre substratos

As ligações interfaciais ocorrem quando dois materiais diferentes, suficientemente próximos, gerarem entre eles forças de atrações físicas e químicas e assim formarem interação de alguns mecanismos atuantes, tanto na interface quanto à pequenas profundidades nos materiais aderidos (CASALI, 2008).

A explicação parte de uma zona formada a partir da união adesiva entre argamassa e substrato, na qual a resistência à adesão é baixa (PACKHAM, 2017). A primeira abordagem para essa teoria deve-se a Bikerman (1961), que afirmou que a força coesiva de uma interface pode ser considerada como um fator na determinação do nível de adesão, mesmo quando a falha parece ser interfacial (SCHULTZ; NARDIN, 2003).

Porém, Packham (2017) cita que há 50 anos havia um entendimento que a teoria da interface seria frequentemente discutida como a teoria da adsorção e teoria eletrostática. De fato, Casali (2008) e Barbosa (2010) atribuem as ligações interfaciais aos fenômenos de molhagem e sucção capilar. Já Schultz e Nardin (2003) explicam esta teoria à formação de uma fase ou região formada por distintos materiais, cujo elo é uma camada mais fraca e que apresenta falhas de coesão.

Assim, há de se compreender a definição de interface e os fenômenos que ocorrem na aderência de dois materiais. Para Pagnassut (2013), uma interface pode ser conceituada como a superfície ao longo da qual duas substâncias diferentes, ou fases distintas de um mesmo material, são unidas. São nas interfaces onde ocorrem a maioria das interações entre sólidos, líquidos e gases de naturezas distintas.

Para Schultz e Nardin (2003), as interfaces entre dois materiais possuem espessura desde o nível molecular (alguns angstroms ou nanômetros) até a escala microscópica (alguns micrômetros). Além, disso, a formação dessa interface de aderência está vinculada a vários fatores:

- a) capacidade de a argamassa se espalhar e fazer contato com o substrato no qual é aplicada;
- b) molhabilidade do substrato, avaliada por meio do ângulo de contato e influenciada pela rugosidade da superfície do substrato. Quando a argamassa não molha o substrato de forma adequada, uma camada de ar

fica presa na interface, causando uma redução na resistência de aderência (EBNESAJJAD, 2010);

- c) capacidade de criar forças de interação entre o substrato e a argamassa.

Para Kendall (2001), esta interação intermolecular na interface entre duas superfícies é regida por três leis fundamentais:

- a) todos os átomos e moléculas geram interações intermoleculares de força considerável;
- b) a textura da superfície, viscosidade da argamassa, sucção do substrato, retenção de água da argamassa, dispersão de partículas interferem na aderência e podem resultar na diminuição da área de contato entre as superfícies se dificultarem o contato em nível molecular;
- c) a contaminação das superfícies reduz a aderência. Falhas na interface podem ocorrer na argamassa ou substrato se uma impureza se concentrar perto da superfície de ligação e formar uma ligação fraca ao substrato.

Assim, conforme Casali (2008), no estudo da interação entre o substrato e a argamassa, no caso de dois materiais distintos e porosos, primeiramente deve-se compreender parte da teoria das ligações interfaciais.

No caso da superfície de contato entre um substrato cerâmico e argamassa, a detecção de interface interna é geralmente complexa, devido à presença de várias camadas. Neste caso, é necessário incluir recursos microestruturais (tamanho, orientação cristalina de grãos, vazios e poros etc.), baseados em observações de seções transversais das diferentes camadas e materiais constituintes (LE ROUX *et al.*, 2015).

2.1.3 Adesão por difusão

Essa teoria sugere que a adesão é desenvolvida através da interdifusão de moléculas entre o adesivo e o substrato. Ebnesajjad (2010) cita que essa teoria é aplicável principalmente quando o adesivo e o substrato são polímeros com cadeias de moléculas relativamente longas. Já Schultz e Nardin (2003) explicam que tal

mecanismo, implica que as cadeias macromoleculares ou segmentos de cadeia são suficientemente móveis e mutuamente solúveis.

Ou seja, a adesão ocorre de polímeros para si mesmos (autoadesão) ou a outro polímero devido à difusão mútua (interdifusão) de macromoléculas na interface. Neste caso, a natureza dos materiais e as condições de ligação influenciarão até o ponto em que a difusão ocorre. A camada interfacial difusa tem tipicamente uma espessura na faixa de 10 e 1.000 Å (1 e 100 nm).

No caso dos revestimentos argamassados, a adesão inicial da argamassa ao substrato ocorre no momento do lançamento, sendo conduzida pela difusão e adsorção das moléculas de argamassa nas paredes dos poros do substrato (BAUER, 2005; STOLZ, 2011). A adesão inicial é meramente física e de baixa magnitude.

Costa (2014) cita que a aderência é oriunda da difusão de íons/moléculas/partículas entre a argamassa e o substrato. Contudo, para que tal fenômeno ocorra, deve haver uma diferença de concentração entre as fases além da mobilidade iônica. A autora explica que a ocorrência dessa teoria da aderência em matrizes cimentícias está associada ao mecanismo de transporte de fluidos da matriz para o substrato ou vice-versa.

Deste modo, quando, nos substratos porosos, o desenvolvimento da aderência matriz/substrato se dá por difusão, a umidade é transferida em decorrência de gradientes de pressão. Porém, quando o transporte ocorre devido à sucção exercida pelos poros do substrato, o mecanismo é dito por absorção. O transporte de água da matriz para o substrato provoca a redução da quantidade de água e a aproximação das partículas na interface, reduzindo a porosidade. No entanto, a magnitude desta contribuição na aderência não está comprovada (COSTA, 2014).

2.1.4 Adesão eletrostática

Ghanem e Lang (2017) explicam que este modelo é aplicável apenas para materiais incompatíveis, como polímeros e metais. Todavia, apresenta pequena contribuição para adesão referente a sistemas não metálicos, quando comparada à da ligação química (EBNESAJJAD, 2010).

2.1.5 Principais conclusões sobre as teorias da adesão

A aderência apresenta mecanismos complexos e, dessa forma, necessita ser melhor explicada. No caso da ancoragem mecânica, é influenciada pela rugosidade da superfície, como também pela penetração da argamassa nos poros dos substratos, que é fortemente influenciada pelos parâmetros reológicos das argamassas.

Conforme a teoria da adsorção, a aderência é decorrente da tensão superficial líquido/ar e do ângulo de contato. Ou seja, depende da molhabilidade da argamassa no substrato, também dependente da absorção do substrato e da reologia da argamassa, porém uma mesma superfície rugosa pode apresentar ângulos de contato similares e resistências de aderência diferentes.

No caso da teoria por difusão, a aderência está associada ao mecanismo de transporte de fluidos da matriz para o substrato, ou vice-versa. Assim, todas as teorias convergem para a necessidade de aproximação entre a pasta e o substrato, de maneira a reduzir a zona de interface. Concluindo os principais mecanismos de aderência, o item a seguir trata dos fatores que influenciam os resultados de aderência.

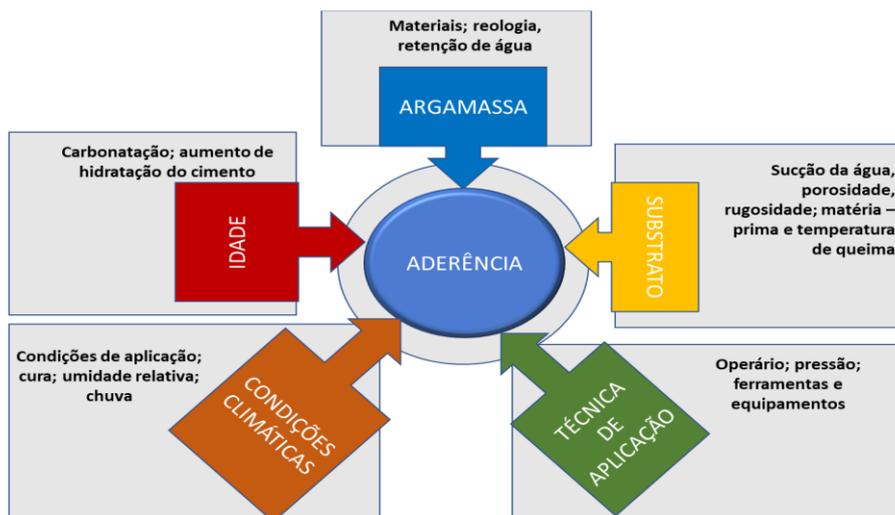
2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM A ADERÊNCIA

As normativas brasileiras tratam das especificações de aderência em níveis mínimos de resistência desta (ARAÚJO JR, 2004), sem fazer referência aos fatores que influenciam a aderência de argamassas sobre bases porosas, que são dependentes das propriedades das argamassas no estado fresco, da sucção de água, rugosidade e porosidade dos substratos, das condições climáticas, além do processo de aplicação dos revestimentos (CARASEK, 2010).

Sabe-se que a força de união é afetada por muitos fatores inter-relacionados e fatores associados ao substrato e argamassa, havendo entre eles uma certa dependência, fato este confirmado através de análise estatística realizada por Carasek (1996) e Vaz e Carasek (2019). Fatores tais como absorção superficial, estrutura de poros, composição de argamassa, retenção de água da argamassa e as condições de cura que podem afetar o desenvolvimento de ligação (CARASEK *et al.* 2014). Já a textura da superfície do substrato e mão de obra podem afetar indiretamente a

resistência da união (TORRES; VEIGA; FREITAS, 2018). Carasek *et al.* (2014) sistematizaram fatores que exercem influência na ligação argamassa/cerâmica porosa (Figura 5).

Figura 5 - Fatores que exercem influência sobre a aderência



Fonte: Adaptado de Carasek *et al.* (2014).

Dentre esses fatores podem ser evidenciadas as características e propriedades do material poroso em contato com argamassa, representada principalmente pela sucção de água, porosidade e rugosidade (CARASEK, 1996; YATES *et al.*, 1994). Nesse sentido, Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007) compararam a distribuição de poros em substratos cerâmicos, verificando diferenças significativas nessa propriedade entre os materiais que apresentaram poros compreendidos entre 0,01 e 30 μ m.

Quanto à rugosidade do substrato, essa propriedade influencia fortemente a ligação dos mecanismos de fixação e resistência à aderência do revestimento, favorecendo a ancoragem mecânica no substrato (LE ROUX *et al.*, 2015, TONIETTO *et al.*, 2022).

Outros fatores que influenciam a aderência entre substratos e argamassas de revestimentos são as características das argamassas e seus constituintes materiais (ANTUNES, 2005; PAVÍA; HANLEY, 2010; YATES *et al.*, 1994).

Antunes (2005) mostrou a influência da técnica de aplicação da argamassa nas propriedades de aderência (PAVIA; HANLEY, 2010; WINNEFELD *et al.*, 2012). Outros fatores de destaque são as condições climáticas no momento da execução e

ao longo da vida útil do revestimento ou reboco (CARASEK *et al.*, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2013; SCARTEZINI, 2002; WINNEFELD *et al.*, 2012).

Flores-Colen, Brito e Branco (2009) citam que aspectos que influenciam os resultados do ensaio de aderência à tração, referem os parâmetros instrumentais, tipo de equipamento, profundidade do corte, processo de corte, velocidade de carga e sua excentricidade e a dimensão corpo de prova utilizado. De forma que esta medida de resistência de aderência depende tanto de parâmetros do material quanto do equipamento utilizado para a medição (VAZ; CARASEK, 2019).

Constata-se que o ensaio de aderência à tração apresenta coeficiente de variação de 10% a 35% (ANTUNES, 2005; CINCOTTO, SILVA, CASCUDO, 1995; NABAIS, 2015). Tal variação tem como causa, conforme os autores: o ângulo de aplicação da tensão, equipamento utilizado no corte do revestimento, forma e velocidade de aplicação da carga de arrancamento.

O método de ensaio preconizado pela NBR 13528-3 (ABNT, 2019) emprega Dinamômetros para aferição da aderência no estado endurecido, de maneira que representa uma análise em macroescala de interpretação quantitativa da força, ou da energia necessária para separar as argamassas do substrato. Além disso, este método de ensaio apresenta parâmetros divergentes ou pouco especificados assim, ocorrem alta variabilidade dos resultados para uma mesma situação de ensaio (COSTA; CARASEK, 2009), fato agravado ainda pela complexidade e quantidade de fatores envolvidos no mecanismo de aderência, somadas ainda às variações decorrentes do próprio método de ensaio (NABAIS, 2015).

Outro método empregado para aferir a aderência é o de resistência ao cisalhamento, porém, não normatizado no Brasil quando se trata da aderência entre substrato e argamassas. Contudo, alguns estudos aplicaram o teste de cisalhamento em sistemas de revestimentos e autores, como Stolz (2011) e Campos (2014), concordam que a resistência de aderência ao cisalhamento é aferida pelos esforços verticais e tangenciais ao revestimento gerados com a atuação da gravidade na argamassa aderida ao substrato.

Nesse sentido, Campos (2014) adaptou o método D 3080 (ASTM, 2011) de cisalhamento direto em solo e seus resultados mostraram coeficientes de variação muito baixos (da ordem de 6 %) e as adaptações realizadas na máquina para aplicação da força de cisalhamento foi exatamente na interface de aderência. Assim, os experimentos foram bem-sucedidos, conforme a autora, de forma que o

cisalhamento foi induzido na interface de aderência, não permitindo outras regiões para ruptura.

No caso deste método, a amostra foi submetida a um esforço vertical (tensão normal) e a um esforço cisalhante horizontal (tensão de cisalhamento) simultâneos, caracterizando-se, assim, a resistência ao cisalhamento do material sob um determinado carregamento vertical. Os resultados da autora evidenciaram que a resistência ao cisalhamento da argamassa na região de interface apresenta valores menores que na argamassa ensaiada isoladamente. A autora explica que há evidência da existência da denominada região de aderência, na qual os materiais nela envolvidos possuem diferenças de características entre si.

Já Stoltz (2011) desenvolveu um aderímetro, adaptado através de um mecanismo metálico para a realização de ensaio resistência ao cisalhamento, no qual os corpos de prova são submetidos à tensão de corte na horizontal. Este dispositivo apresentou, segundo a autora, resultados satisfatórios. Entretanto, a sua construção revela-se mais complicada e dispendiosa quando comparada com mecanismos mais simples (NABAIS, 2015).

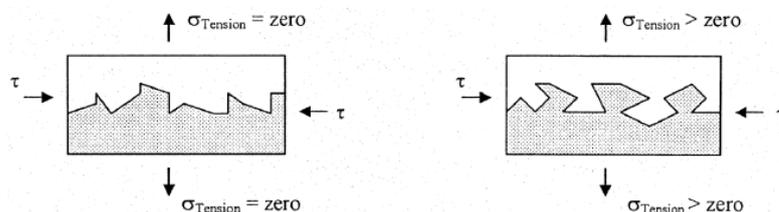
As comparações realizadas entre os variados ensaios demonstraram que a resistência de aderência ao cisalhamento é consideravelmente maior que a resistência de aderência à tração (SILFWERBRAND; BEUSHAUSEN; COURARD, 2011). Silfwerbrand (2003) indicou uma correlação entre resistência de aderência ao cisalhamento e resistência de aderência à tração de 2,04. O mesmo autor encontrou uma razão entre resistência ao cisalhamento por torção e resistência à tração, variando entre 1,90 e 3,10.

Nas pesquisas brasileiras, comparações entre métodos de determinação da resistência de aderência à tração e ao cisalhamento para revestimentos de argamassa também foram realizadas. Candia (1998) verificou resultados de resistência de aderência ao cisalhamento correlacionáveis com a resistência de aderência à tração na ordem de 1,4 vezes superior para todos os casos estudados, com coeficientes de variação também menores dos obtidos por tração. Stolz (2011) verificou, ao contrário de Candia (1998), resultados de resistência de aderência à tração superiores aos resultados de resistência de aderência ao cisalhamento.

Para Bissonnette *et al.* (2017), a aderência mecânica à tração difere significativamente daquela no cisalhamento. Por exemplo, uma alta rugosidade da interface pode melhorar a resistência da ligação ao cisalhamento, enquanto a

resistência à tração depende principalmente da ancoragem vertical em poros e espaços vazios (Figura 6).

Figura 6 - Esquema de cisalhamento mecânico e ligação à tração entre substrato e adesivo, resultante de mecanismos de intertravamento



Fonte: Adaptada de Bissonnette *et al.* (2017).

Enfatizando a justificativa deste trabalho, Vaz e Carasek (2019) verificaram que o tipo de substrato exerce grande influência nas resistências de aderência dos revestimentos de argamassa. Os autores encontram, em estudos bibliográficos, em ordem decrescente de resistências de aderência: laje de concreto 0,27 MPa de média; alvenaria de bloco de concreto celular 0,17 MPa de média; alvenaria de bloco de concreto 0,16 MPa de média; e alvenaria de bloco cerâmico 0,14 MPa de média.

Sano *et al.* (1994) verificaram diferenças de aderência em diferentes dimensões e espessuras de corpos de prova. Os autores constataram que a resistência de aderência à tração foi inversamente relacionada à área de superfície. Em áreas de superfície abaixo de 0,40 mm², todas as falhas de adesão eram de natureza adesiva. Os autores salientam ainda que, em áreas menores, ocorre a facilidade de múltiplas medições a serem feitas dentro de uma única amostra, que no caso de seus estudos foram em dentes. Dessa forma, os autores citam que, para estudar tais propriedades, é necessário avaliar o desempenho adesivo de uma pequena superfície colada. Isso exigiu o desenvolvimento de um método de ensaio de tração em miniatura.

As áreas de análises variaram de 0,25 mm² a 11,65 mm². Ocorreu uma variação de 20% na resistência à tração para superfícies coladas entre 1 e 3,5 mm². Esta variação aumentou quando a área de superfície foi moldada na faixa de 0,20 a 0,75 mm². Fraturas coesivas na dentina foram encontradas em todas as áreas de superfície maiores que 7,17 mm². Já as amostras com área de superfície entre 2,31 e 7,17 mm² exibiram falhas na dentina e falhas adesivas. O principal achado deste

estudo foi que a resistência de aderência à tração depende da área da superfície colada.

Contudo, no caso dos blocos cerâmicos, as exigências das Normas Técnicas tais como a BS 3921(1985), a ASTM C67 (2013), a EN 771-1 (2011) e a NBR 15270-1 (ABNT, 2017) restringem-se a parâmetros geométricos, absorção de água e resistência à compressão, não abrangendo questões relevantes quanto à superfície, textura ou rugosidade do substrato. Verifica-se que as referidas Normas Técnicas tratam as características dos substratos cerâmicos numa escala macro, especificando propriedades que praticamente não interferem na aderência entre a argamassa e o substrato.

Além disso, as normas técnicas *Centre Scientifique et Technique Du Batiment*, (CSTB) (1992), ASTM C-270 (2010), EN 998-1 (2016) e a NBR 13281 (2005) tratam das argamassas de revestimentos, porém o conceito ainda é de caracterização desses materiais de forma isolada quanto à resistência à compressão, resistência à tração na flexão, retenção de água, absorção de água por capilaridade e densidade. Quanto à propriedade de aderência, essa é avaliada pelas normas brasileiras e europeias, que trazem limites mínimos de valores para essa propriedade.

O CSTB é um guia que especifica as propriedades intrínsecas da argamassa associada ao seu desempenho em uso, bem como análise dos procedimentos de ensaio para a caracterização desses materiais.

Quanto à classificação de argamassas utilizadas pelo CSTB (1992), as argamassas são formuladas para diferentes condições de exposição atmosféricas e utilização do revestimento, contudo, as condicionantes e os requisitos para as argamassas são vinculados às condições das regiões da França (BAUER *et al.*, 2013) e essas não vinculam a propriedade ao tipo de substrato empregado.

Diante dos conceitos e fatores que influenciam a aderência, trata-se na sequência da caracterização dos blocos cerâmicos.

2.3 CARACTERÍSTICAS DE BLOCOS CERÂMICOS QUE INFLUENCIAM A ADERÊNCIA

Conforme Scartezini (2002), o substrato constituído por blocos cerâmicos que, na maioria das vezes, não propicia boas condições de ancoragem do revestimento,

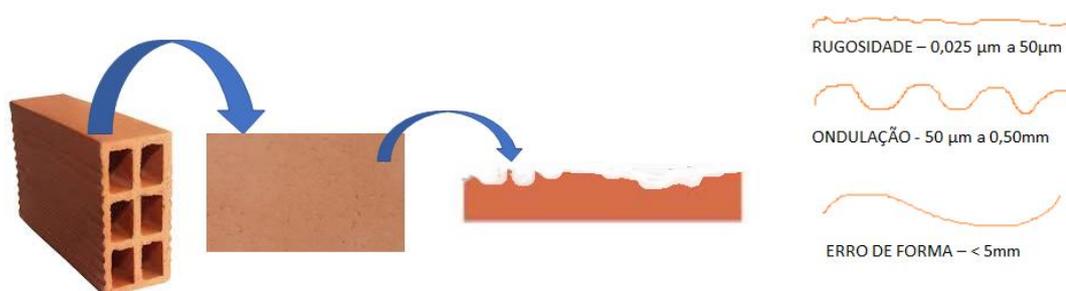
pois há uma relação significativa entre a estrutura de poros dos blocos cerâmicos em função da temperatura de queima também influencia na rugosidade da base (PAGNASSUT, 2013) e, conseqüentemente, a aderência.

Blocos cerâmicos são fabricados com o uso de extrusora, que gera uma orientação paralela preferencial das lamelas de argila, e influencia notavelmente a anisotropia mecânica do bloco cerâmico, criando uma direção mais resistente para o material (SASSONI *et al.*, 2017), o que pode causar rugosidades diferentes em cada direção do bloco cerâmico, influenciando diretamente na ancoragem do revestimento no mesmo, por meio da área de contato (GRIGORIADIS, 2016).

Nesse sentido, os estudos de Vaz *et al.* (2019) constataram que a resistência de aderência com a presença de reboco é cerca de 35% maior do que na superfície lisa e, quando os blocos possuem superfícies ranhuradas, apresentam um aumento médio de 12%.

Desta forma, é importante diferenciar os conceitos de ranhuras dos blocos cerâmicos e de rugosidades. As ranhuras fazem parte da macroescala desses materiais, são as formas provenientes da moldagem da argila e do processo de fabricação dos substratos cerâmicos. Já as rugosidades são conjuntos de picos e vales que representam o perfil de uma superfície. Os perfis podem apresentar componentes de curto comprimento de onda, conhecidos como rugosidades, e os de frequência média com maior comprimento de onda, denominados de ondulações ou erros de forma (Figura 7).

Figura 7 - Efeito de escala na decomposição do perfil



Fonte: Adaptada de Arnold *et al.* (2021).

A rugosidade é tratada a partir do nível de ondulação ou macrorrugosidade (entre 0,50 mm e 50 mm), mas é na escala micrométrica que se denomina rugosidade propriamente dita (entre 0,025 μm e 50 μm). Assim, os parâmetros da

rugosidade ocorrem em microescala (ARNOLD, 2021; ARNOLD *et al.*, 2021; GARBACZ, COURARD, BISSONNETTE, 2013; TONIETTO *et al.*, 2019; TONIETTO, 2021; TONIETTO *et al.*, 2022).

Não há um método consolidado para a caracterização da rugosidade de substratos cerâmicos. De toda forma, o método mais adequado não deve requerer contato com a superfície inspecionada, deve ser quantitativo e não destrutivo (SANTOS, 2009; TONIETTO *et al.*, 2022). Para os autores, uma abordagem qualitativa, baseada em uma inspeção visual, foi proposta por vários códigos de projeto, como CEB-FIP *Model Code* 1990 (1990), *Eurocode 2* (2004), BS 8110-1 (1997), ACI 318 (ACI, 2008) e CAN / CSA A23.3 (2004). No entanto, esse tipo de abordagem, focada na macrotextura de superfície, é sempre limitado porque a superfície é simplesmente classificada como muito lisa, lisa, rugosa, muito rugosa ou indentada.

Há diferentes resoluções e faixas de medição que podem ser alcançadas dependendo da técnica de aferição adotada, considerando a natureza do material e a precisão requerida. Para Le Roux *et al.* (2015), quantificar a rugosidade da superfície de uma camada externa é fácil e direta, usando dispositivos de medição, como microscópio de força atômica ou sensores óticos.

Nesse sentido, Sassoni *et al.* (2017) aplicaram perfilômetro óptico, obtiveram resultados da superfície superior mais áspera que a superfície frontal, apresentando diferenças de valores de índice de rugosidade mais que o dobro. Os autores utilizaram em seus estudos três diferentes blocos para mostrar uma alta variabilidade em termos de propriedades mecânicas e microestruturais. Um tipo de bloco produzido por extrusão (superfície muito lisa e o substrato parece mais homogêneo e denso) e dois blocos artesanais produzidos por compactação (rugosidade superficial mais alta).

Sassoni *et al.* (2017) observaram que a extrusão causa uma orientação paralela preferencial das lamelas de argila, que influenciam notavelmente a anisotropia mecânica do tijolo, criando uma direção mais resistente. Além disso, esses autores avaliaram os efeitos da anisotropia do substrato cerâmico nos mecanismos da aderência, assim determinaram a profundidade de penetração de resina epóxi em pelo menos 10 pontos de medição, para comparar a qualidade da aderência entre a resina epóxi e os diferentes tijolos: um de superfície lisa e dois de superfície rugosa.

O bloco de superfície lisa mostrou um comportamento singular, apresentando um valor máximo da penetração de profundidade de resina epóxi na face superior e o valor mínimo para a face frontal. Contudo, a capacidade de penetração da resina se mostrou limitada nesse substrato, provavelmente devido à sua alta viscosidade e período curto de vida útil de aplicação.

Os resultados mostraram que o bloco de superfície lisa apresentou incremento de resistência à aderência, quando comparado aos outros dois, porém apresentou uma dispersão de 33% nos valores quando se confrontou a face superior e frontal do bloco, demonstrando a variabilidade visível na microescala do material, o que não é palpável em uma macroescala.

A maioria dos trabalhos, em que a rugosidade é calculada quantitativamente, utiliza métodos de avaliação em perfis 2D. Isto ocorre em função da norma NBR/ISO 4287/2002, que estabelece somente critérios para análise de perfis de rugosidade a partir de dados em duas dimensões. Tal proposta gera muitas críticas entre os pesquisadores, uma vez que um único perfil não caracteriza adequadamente uma superfície 3D.

O parâmetro de rugosidade recomendado pelas normas DIN 4768 (1990-05) e DIN EN ISO 4287 (1998) é a rugosidade média (R_a). Contudo, o R_a é ineficaz na real caracterização de um material como o substrato cerâmico, que demanda caracterizações e análises em 3D, além de que não se pode analisar uma superfície apenas com um valor, devendo-se utilizar, no mínimo, um parâmetro para cada característica da superfície, amplitude, frequência e inclinação, principalmente, já que se necessita de maior precisão (EK *et al.*, 2016; MA *et al.*, 2017).

O R_a não é sensível o suficiente por não fornecer informações sobre a variabilidade local, visto que diferentes perfis podem ser obtidos de rugosidade com características diferentes, mas com o mesmo valor de R_a (TONIETTO *et al.*, 2022). Tal resultado foi demonstrado no estudo desenvolvido por Arnold *et al.* (2021), que compararam a rugosidade de substratos cerâmicos usando métodos 2D e 3D e os resultados enfatizam que, no método 2D, a orientação de medição fortemente influencia o resultado e que o método 3D permite identificar variações de rugosidade típicas de materiais heterogêneos, como os blocos cerâmicos.

Outro ponto importante na caracterização dos substratos, quando se trata de determinação quantitativa 3D de superfície, é a seleção do equipamento, bem como a resolução e precisão na aquisição de dados, pois alguns apenas conseguem

identificar ondulações, como o método *sand patch test*, enquanto outros são capazes também de detectar rugosidades (ARNOLD, 2021; MOREAU; ROUDET; GENTIL, 2014; SANTOS; JÚLIO, 2013).

A tabela 1 lista as características dos métodos quanto à existência de contato ou não, o tipo de análise, seja ela qualitativa ou quantitativa da superfície do substrato, a fim de se analisar quais os métodos são mais adequados para a análise de rugosidade dos substratos.

Tabela 1 - Métodos de aferição de parâmetros de rugosidade

Métodos	Quantitativo	Qualitativo	Com contato	Sem contato	Escala
Análise Visual (ICRI)*		x		x	>50 μm
Fotogrametria	x			x	0,025 a 50 μm
Medidor Digital de Rugosidade da Superfície (DSRM)	x			x	0,025 a 50 μm
Método <i>Slit-Island</i> *	x		x		>50 μm
Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)	x	x		x	0,025 a 50 μm
Microscópio de Força Atômica (MFA)	x		x		0,025 a 50 μm
Microscópio Óptico		x		x	0,025 a 50 μm
Perfilometria a Laser	x			x	0,025 a 50 μm
<i>Sand patch test</i> *	x		x		>50 μm
Rugosímetro	x		x		0,025 a 50 μm

*Estes métodos determinam ondulação.

Fonte: Adaptado de Arnold (2021).

Os métodos de análise visual (ICRI), *Slit-Island* e *Sand patch test*, apesar de ser utilizado para determinar rugosidade, a escala de leitura é referente à ondulação. Estudos relatam equipamentos de contato, ou não, métodos que possibilitam a análise bidimensional ou tridimensional, métodos quantitativos ou qualitativos, métodos analógicos e outros que convertem os resultados em dados numéricos (ARNOLD, 2021; LE ROUX *et al.*, 2015; MOREAU; ROUDET; GENTIL, 2014; PEREZ; BISSONNETTE; COURARD, 2009; SADOWSKI; HOLA; CZARNECKI, 2016; SADOWSKI, 2016; SANTOS; JÚLIO, 2013; SASSONI *et al.*, 2017; TONIETTO, 2021; TONIETTO *et al.*, 2022).

Arnold (2021) cita que, para obter-se precisão nos métodos de contato, é necessária a realização de diversas medições em um mesmo perfil, utilizando-se a média dos resultados encontrados em cada etapa, pois muitas vezes as superfícies

não apresentam uma configuração de rugosidade uniforme em toda a sua extensão e apresentam variações em direções diferentes, podendo causar porcentagens significativas de erros, caso se avalie o perfil com apenas uma medição.

No caso desse estudo, dois métodos foram abordados, a perfilometria a laser e a fotogrametria, uma vez que esses foram vistos nas pesquisas de Tonietto *et al.* (2022) e Scalco *et al.* (2022), e possibilitaram maiores números de medições para estabelecer uma precisão adequada para análises de rugosidades de substratos cerâmicos, pois são equipamentos sem contato, quantitativos. Estes, por obterem maior padronização dos resultados e não destrutivos, assim permitem o uso das amostras após a medição. Esses dois métodos permitem gerar uma nuvem de pontos 3D, sendo possível a maior precisão dos parâmetros de superfície.

A perfilometria a laser utiliza um emissor de laser que produz um feixe de energia que atinge um ponto na superfície do objeto sob investigação. Em seguida, a luz refletida é medida com o auxílio de um sensor. Repetindo o procedimento para todos os pontos da superfície do objeto, é possível obter suas coordenadas usando equações trigonométricas básicas e construir uma nuvem de pontos 3D da superfície (BITELLI *et al.*, 2012; GRIGORIADIS, 2016).

No caso do perfilômetro a laser 3D, deve-se ter o devido cuidado para o feixe luminoso atingir todas as cavidades da superfície. Isso será possível com um bom posicionamento do equipamento e da planicidade da amostra, caso contrário o resultado será uma superfície mais suave do que a realidade (ARNOLD *et al.*, 2021; SIEWCZYNSKA, 2012; TONIETTO *et al.*, 2022). Siewczynska (2012), por meio da perfilometria a laser, cita que, quanto maior a quantidade de pontos, mais precisa é a medição para gerar dados confiáveis para as amostras analisadas. Cabe salientar que a precisão tem grande relação com as distâncias entre os pontos obtidos para gerar a nuvem de pontos.

No caso da fotogrametria, é um método simples de realizar, tem um custo relativamente baixo e a precisão do modelo de superfície 3D pode ser melhorada com a adição de fotografias tiradas de diferentes posições, porém, deve-se notar que a precisão do modelo 3D é significativamente afetada pelo tipo de câmera usada e suas especificações, número de fotos usadas e posição em que foram tiradas (SANTOS; JÚLIO, 2013).

Ahmed e Haas (2010) usaram fotogrametria digital de alcance fechado para reconstruir com precisão um modelo 3D detalhado de uma superfície de pavimento,

no qual os resultados demonstraram o potencial do uso da fotogrametria para detecção de trincas e reconstrução 3D da superfície.

A maioria dos métodos laboratoriais empregados para monitorar deslocamentos e deformações na superfície de um substrato apresenta várias restrições, tais como limitações no posicionamento do equipamento, equipamentos e recursos humanos dispendiosos e demorados processamentos de dados. Dessa forma, utilizar a fotogrametria e o pós-processamento de imagem apresenta vantagens em relação a outros métodos, pois os campos de deslocamento e deformação podem ser monitorados em qualquer estágio. Os dados são adquiridos com câmeras digitais não profissionais e representa um procedimento rápido, uma vez que os dados são processados automaticamente. Além disso, permite uma alta precisão na aquisição de dados.

Vistos os parâmetros de rugosidade associados a esse estudo, é importante citar que essas propriedades dos blocos cerâmicos podem indicar uma maior área de aderência entre o substrato e o revestimento, pois as propriedades reológicas da argamassa relacionadas à área de contato e rugosidades do substrato determinam uma maior ou menor aderência entre eles (TONIETTO *et al.*, 2022).

Nesse sentido, a avaliação da interface substrato/matriz é conduzida macroscopicamente, no entanto, não explica os mecanismos da aderência por completo, o que exige técnicas de análises meso e microestruturais (SANDOWSKI, 2017). Nesse contexto, Costa (2014) esclarece que na prática, nenhuma superfície é perfeitamente plana e irá depender da escala de observação, de forma que em baixa ampliação a superfície é plana, e quando aumentada verifica-se rugosidade na topografia do substrato.

Conforme Hola *et al.* (2015), uma análise multiescala é baseada em características geométricas da superfície do substrato como espaçamento, altura e profundidade entre picos e vales. Ou seja, permite separar a textura em rugosidade e ondulação. Sadowski (2017) mostra que a maioria dos exames realizados na região de interface são conduzidos nos níveis macro e meso, usando métodos macroscópicos (principalmente os métodos de resistência à tração e ao cisalhamento).

Assim, é necessário definir a escala de compreensão do perfil da superfície analisada, pois um perfil visualizado em macroescala pode apresentar irregularidades mais suaves, enquanto na microescala, percebe-se picos e vales

cada vez mais salientes. Deste modo, uma superfície pode ser caracterizada como suave quando avaliada a olho nu, ou microscópio óptico, e rugosa quando avaliada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), *scanner* a laser e microscopia de força atômica (MFA) (ARNOLD, 2021; GURAU *et al.*, 2017; MA *et al.*, 2016; MOREAU; ROUDET; GENTIL, 2014; SANTOS; JÚLIO, 2013; TONIETTO, 2021).

No processo de fabricação dos substratos, é empregada uma ampla variabilidade de matérias-primas em termos de composição química, mineralógica e física e assim, esses produtos não apresentam um modelo padrão de rugosidade (ARNOLD, 2021; ARNOLD *et al.*, 2021; TONIETTO *et al.*, 2019; TONIETTO, 2021; TONIETTO *et al.*, 2022). Deste modo, por ser um dos objetivos principais do estudo, é importante destacar a influência da rugosidade de blocos cerâmicos na aderência.

Além das rugosidades, foco desse estudo, outras duas propriedades bastante discutidas são a porosidade e a absorção de água dos blocos cerâmicos. Novamente ressalta-se que as características dos substratos cerâmicos são dependentes da composição das argilas e das condições de processamento empregadas, além da temperatura de queima, que é o parâmetro de processamento que influencia fortemente as propriedades mecânicas (KIEFER, *et al.*, 2020; PINHEIRO; HOLANDA, 2010).

Na produção da cerâmica vermelha são utilizadas massas argilosas formuladas com duas ou mais argilas de características distintas. A argila é uma mistura de diferentes minerais com tamanhos variados de partículas (GOMES,1988), dessa maneira, suas propriedades variam de forma significativa consoante a zona onde são encontradas (CHRISPIM *et al.*, 2010). Em geral, as massas argilosas apresentaram as seguintes faixas granulométricas (MAIA, 2012):

- a) fração argila ($< 2 \mu\text{m}$): entre 45,0 e 67,4 %;
- b) fração silte ($2 \leq x < 63 \mu\text{m}$): entre 24,7 e 44,4 %;
- c) fração areia fina ($63 \mu\text{m} < x < 200 \mu\text{m}$): entre 5,2 e 16,7 %;
- d) fração areia média ($200 \mu\text{m} < x < 600 \mu\text{m}$): entre 0,9 e 5,7%;
- e) fração areia grossa ($600 \mu\text{m} < x < 2000 \mu\text{m}$): entre 0,2 e 1,4%.

Assim, observa-se a dispersão nas propriedades dos substratos da cerâmica vermelha desde a obtenção de sua matéria-prima até o produto acabado e, conseqüentemente, a influência na aderência com as argamassas.

Pinheiro e Holanda (2010) comentam que o efeito da temperatura de queima em peças cerâmicas se deve, fundamentalmente, ao fechamento da porosidade aberta no interior da cerâmica vermelha, devido à desidroxilação da caulinita (formação da metacaulinita amorfa) e posterior transformação para fases cerâmicas de alta temperatura (formação da mulita). Acima de 950 °C, a porosidade aberta pode se fechar de forma mais significativa, devido à presença de uma pequena quantidade de finos filamentos de vidro.

A diminuição da porosidade é acompanhada por uma diminuição volumétrica da peça, que irá alterar as características de rugosidade da superfície (KRAKOWIAK; LOURENÇO; ULM, 2011). Acerca disto, Saleiro e Holanda (2012) verificaram a diminuição dos poros devido à fase vítrea de sinterização de blocos cerâmicos, assim como Pagnussat (2013), que notou a diminuição da porosidade e o aumento da rugosidade na temperatura mais elevada (1000°C). O autor confirmou que há uma relação significativa entre a estrutura de poros do substrato, em função da temperatura de queima, e a resistência de aderência do sistema de revestimento. Contudo, Pagnassut (2013) não verificou uma influência significativa com a rugosidade dos substratos estudados.

Como visto anteriormente, a aderência entre blocos cerâmicos e argamassas de revestimento também é condicionada pela absorção dos produtos de hidratação da pasta de cimento pelos poros do substrato que, quando hidratados, promovem uma ancoragem mecânica da argamassa ao substrato.

A seguir são estudadas as características das interfaces pastas e substratos sob a interferência da distribuição granulométrica, ou dimensões das partículas, quando entram em contato com a superfície dos substratos, além de estudos relacionados à reologia de argamassas e hidratação do aglomerante.

2.4 CARACTERÍSTICAS DA INTERFACE FORMADA ENTRE A PASTA DE CIMENTO E SUBSTRATOS CERÂMICOS

Visto que os blocos cerâmicos apresentam alta dispersão em suas propriedades em função das matérias-primas empregadas em sua fabricação, das dimensões e formas dos blocos, dos equipamentos de moldagem e das variações de temperaturas de queima no interior do forno, é importante descrever também a formação da interface de aderência, onde tem-se um material aglomerante que

altera seu volume do estado fresco para o estado endurecido, e assim, forma-se uma camada com propriedades diferentes daquela pasta ou argamassa lançada no substrato.

Conforme Detriché e Maso (1986), as alterações que ocorrem ao longo do tempo, e que afetam os revestimentos, surgem das deformações não homogêneas que aparecem no sistema multicamada revestimento-substrato e da hidratação diferencial do ligante. Esta última tem a sua origem na heterogeneidade da argamassa colocada, resultante das variações dos parâmetros característicos da argamassa, do suporte e das condições de aplicação (CARASEK, 1996, CARASEK *et al.*, 2014; DETRICHÉ; MASO, 1986).

Estas variações originam modificações locais no modo de perda de água da argamassa de revestimento e levam à justaposição de materiais que adquirem rapidamente diferentes comportamentos.

Tais modificações ocorrem devido à microestrutura dos materiais cimentícios hidratados ser constituída por fases sólidas (C-S-H, CH, AFt, AFm, partículas de cimento ainda por hidratar e inertes); poros (com diferentes formas, dimensões e conectividades); e, fases líquidas e gasosas (no interior dos poros) (BARRETO, 2014; COSTA *et al.*, 2009). Dessa forma, assim que ocorre a mistura das partículas de cimento com água há o desencadeamento das reações químicas, que acontecem a velocidades diferentes e que se influenciam mutuamente conduzindo a alterações químicas, físicas e mecânicas do sistema (BARRETO, 2014). Os produtos destas reações aderem uns aos outros conferindo ao cimento propriedades adesivas.

Outro ponto importante que desencadeia os diferentes comportamentos na justaposição de materiais é a porosidade dos substratos que, além de influenciar a rugosidade da base, também influencia a velocidade da absorção de água. Substratos de alta porosidade ocasionam as altas velocidades iniciais de perda de água por absorção capilar. Neste sentido, a relação que existe, a cada instante, entre as dimensões dos poros do substrato e as dos poros da argamassa em contato, influenciam a aderência (DETRICHÉ; MASO, 1986). Contudo, acredita-se que essa interação deva ocasionar perda de aderência em função das bolhas de água e ar que acontecem na periferia do núcleo formado por essas diferentes sucções (Figura 8).

Figura 8 - Efeito da sucção de água na interface bloco cerâmico e pasta formando bolhas de ar



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Detriché e Maso (1986) explicam que, desde a aplicação das argamassas de revestimentos aos substratos, estas são submetidas à perda de água por evaporação e absorção capilar de parte da sua água de amassamento. Esta perda de água por evaporação ocorre devido à exposição de uma grande superfície livre a condições climáticas de secagem e à presença de porosidade do substrato. A absorção de água é caracterizada pela razão entre a perda de água em um dado instante e a quantidade inicial de água de mistura.

A sucção de água pelo substrato causa um aperto mecânico das partículas sólidas por uma depressão capilar combinada com um aumento simultâneo na concentração dos íons dissolvidos, que acelera a cristalização dos hidratos. Isto provoca um rápido aumento da rigidez da argamassa e uma considerável contração de volume nas primeiras horas de aplicação. A evolução das características mecânicas durante a fase de endurecimento também é influenciada por essa perda de água inicial (DETRICHÉ; MASO, 1986). Porém, esses autores apontam também que o aumento da quantidade de ligante ou sua finura apresenta uma tendência à diminuição do raio médio de poros de argamassas e, portanto, reduz a perda de água.

O aumento da reatividade do ligante tende na mesma direção, afetando a cinética de evolução do raio médio e também a velocidade de retenção da água nos hidratos. Mas, a menor porosidade apresenta a tendência à maior retração.

Logo após a aplicação da argamassa no substrato, a água tende a varrer os poros que a succionam, e assim essa relação mostra que a taxa de hidratação do ligante em uma determinada idade depende de todas as etapas do movimento da

água e mostra também que a rápida eliminação de uma quantidade considerável de água de amassamento na argamassa pode causar uma desaceleração da hidratação.

Dessa forma, Detriché e Maso (1986) explicam que a hidratação diferencial dos ligantes produz nas interfaces entre materiais, de diferentes características, deformações de cisalhamento que podem levar a desordens imediatas (fissuras) ou, pelo menos, a enfraquecimentos locais na estruturação da argamassa.

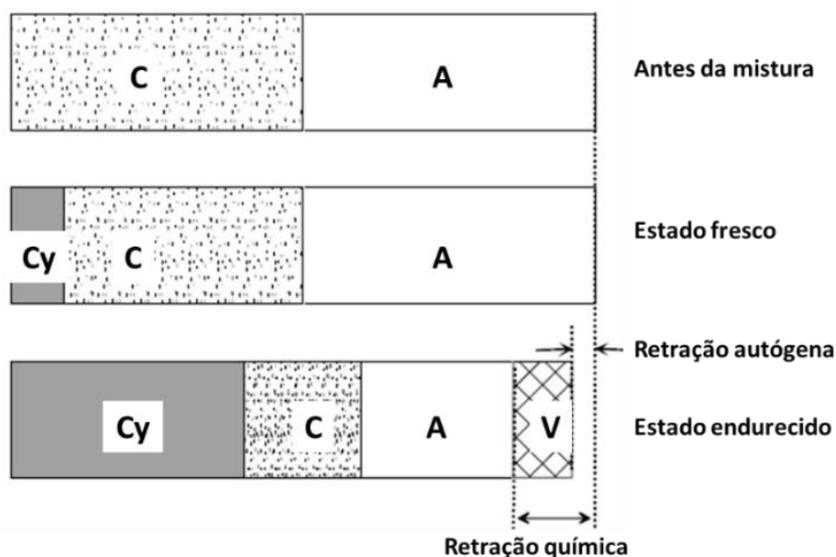
Outro ponto discutido em estudos como de Costa (2014), Barreto (2014) e Scrivener (1984) é que os compostos do cimento apresentam diferentes tamanhos de partículas, em que a partícula de cimento é de 1 a 90 μ m; C₃S de 25 a 65 μ m; C₂S de 20 a 40 μ m e C₃A de 1 a 60 μ m (BARRETO, 2014; SCRIVENER, 1984). Assim, ao longo do tempo, pode-se observar que o volume absoluto de cimento e água é maior do que os eventuais produtos de hidratação, devido às químicas, formando, assim, novos produtos de densidade superior aos reagentes originais.

A retração do ligante hidráulico afeta a aderência da matriz cimentícia ao suporte quase indeformável (DETRICHÉ; MASO, 1986). Esta redução de volume é comumente referida como retração química (TANUE *et al.*, 2020). Conforme os autores, a retração autógena é definida como a mudança de volume macroscópica que ocorre sem umidade transferida para o ambiente externo. É um resultado da retração química, se afiliada à hidratação das partículas de cimento.

Tanue *et al.*, 2020 explicam que, embora muitas vezes sejam consideradas como sendo a mesma propriedade, a retração autógena é diferente da retração química, já que é definida como a deformação geral de um sistema de material cimentício fechado, isotérmico e não sujeito a forças externas. Já a retração química pode então ser definida como uma mudança no volume absoluto, enquanto a retração autógena pode ser definida como uma mudança no volume aparente (JENSEN; HANSEN, 2001), de forma que essas duas propriedades tendem a ser idênticas até que a pasta cimentícia endureça; depois disso, elas se diferenciam, com a retração química sendo significativamente maior do que a retração autógena.

Os resultados dos estudos de Tanue *et al.* (2020) mostraram que dentro de 2 a 4 horas após a adição da água na mistura com o aglomerante, a retração autógena é praticamente igual à retração química, e após esse período ocorre a diferença entre as retrações. A Figura 9 ilustra as reações que causam as retrações autógena e química.

Figura 9 - Reações que causam retração autógena e química - C - cimento, A - água, Cy - produtos de hidratação, e V - vazios gerados pela hidratação.



Fonte: Adaptada de Holt (2001) e Tanue *et al.* (2020).

Os produtos de hidratação e seus respectivos tamanhos de partículas influenciam a aderência, já que, a partir do lançamento da argamassa ao substrato, um pouco da água contendo os componentes dissolvidos do aglomerante é absorvido pelo substrato e penetra em seus poros ou rugosidades (TORRES; VEIGA; FREITAS, 2018) e assim será formada uma interface de aderência. Também, as reações que causam as retrações autógena e química irão influenciar as áreas de contato da argamassa ao substrato, uma vez que as estas sofrerão uma alteração de sua reologia inicial, decorrente da perda de água e das interações com este substrato em sua interface (STOLZ, 2015).

Outro ponto de destaque é a ocorrência do transporte de fluidos e finos (partículas e água) para uma região de transição, seguido da hidratação dos materiais cimentícios (POLITO, 2013; TORRES; VEIGA; FREITAS, 2018), devido às forças capilares da argamassa para o substrato, podendo ocorrer a redução da porosidade na região pelo arraste das partículas (COSTA; CARDOSO; JOHN, 2016). O transporte de partículas em direção à interface é uma função da finura do material componente da argamassa (GROOT, 1997).

Vários modelos geométricos do espaço poroso, como um conjunto de tubos capilares com tamanhos de poros determinados e distribuições de tamanhos de partículas, foram propostos para descrever os mecanismos de permeabilidade

(IMDAKM; SAHIMI, 1987). De acordo com os autores, outro fator que leva à captura das partículas pelas paredes dos poros é a força da interação entre as partículas e as paredes dos poros.

Carasek (1996), Carvalho Jr. (2005) e Polito (2013) citam que a distribuição dos poros do substrato interfere nos mecanismos de aderência graças a migração de partículas finas e sólidas, cujos tamanhos são comparáveis aos dos poros do substrato. Estas partículas podem ser provenientes do produto de uma reação química, o que possibilita a aderência química e a aderência por intertravamento mecânico, por exemplo, a etringita formada nos poros do substrato cerâmico.

Conforme Costa, Cardoso e John (2016), a penetração de partículas e a precipitação de cristais no interior dos poros e/ou rugosidade do substrato poderá favorecer a aderência. Contudo, tal contribuição depende da geometria dos poros e das partículas, tornando-se indispensável que as características reológicas e a distribuição de partículas da matriz sejam compatíveis com a superfície do substrato (porosidade/rugosidade), de modo a garantir seu total recobrimento (COSTA, 2014).

Nesse contexto, Costa, Cardoso e John (2016) e Scrivener, Crumbie e Laugesen (2004) concordam que a porosidade e a extensão da interface irão depender do tamanho mínimo das partículas presentes na matriz, de forma, que a adição de partículas finas, menores que o cimento, à matriz, poderá ser uma das alternativas para aumentar a área de contato.

Por apresentarem uma área específica elevada, as partículas finas poderão diminuir as falhas de extensão de aderência da interface pelo preenchimento das irregularidades. Entretanto, Casali (2008) comenta que, dependendo da rugosidade da superfície, a argamassa de uma determinada consistência pode encontrar maior dificuldade de penetrar nas macrorrugosidades e desta maneira, um efeito inverso tende a reduzir a superfície de contato.

Neste contexto, Costa, Cardoso e John (2016) simularam a deposição de partículas sobre a superfície do substrato num sistema monodisperso de cimento e em outro o sistema monodisperso de fino calcário. Os autores verificaram que há um aumento da área de contato efetivo com o uso do fino calcário com menor granulometria, porém a topografia do substrato não é toda recoberta, pois não há uma compatibilidade geométrica entre partícula e a rugosidade do substrato (COSTA, 2014).

Já nos sistemas polidispersos (cimento e finos calcários), com o uso de partículas de tamanhos diferentes, verifica-se uma melhora do empacotamento na interface e as partículas mais finas tendem a migrar para a superfície do substrato, aumentando o contato efetivo matriz-substrato. Porém, a simulação dos autores mostrou que as partículas do cimento, em conjunto do fino calcário, não preenchem todas as rugosidades superficiais. A suposição é que seria necessária a adição de partículas ainda mais finas, nanométricas, ao sistema, para a ocorrência do aumento do contato efetivo matriz-substrato.

Assim, o recobrimento da superfície será ampliado quando houver compatibilidade entre as características geométricas das partículas das argamassas e das rugosidades superficiais dos substratos cerâmicos. Todavia, há de se considerar que a aderência pode ser modificada pela morfologia da partícula, atritando uma partícula ou acrescentando aerossóis ou partículas menores a sua superfície (FELICETTI, 2004). Ressalta-se que os inertes podem se acomodar à porosidade do substrato e prejudicar a aderência, se impedirem o contato dos produtos de hidratação com os substratos.

Desta maneira, quando se trata da aderência entre dois diferentes materiais, no caso deste estudo pasta e substratos, reitera-se a necessidade do aprofundamento do que ocorre com os produtos de hidratação, em diferentes momentos, quando aplicados sobre uma superfície. É necessário entender de que forma as propriedades reológicas da pasta influenciam as alterações na reação, causando a transição fluido-sólido, além da microestrutura (MACIEL, 2017; SANT; FERRARIS; WEISS, 2008).

Vistas as características das interfaces matriz/substratos, há de complementar as referências bibliográficas com os conceitos de métodos multiescala aplicados ao estudo da aderência, uma vez que a escala de observação pode influenciar as análises de resultados.

2.5 ANÁLISES MULTIESCALA APLICADAS AOS ESTUDOS DA ADERÊNCIA

A avaliação da região de interface entre a argamassa e um substrato é conduzida macroscopicamente e baseia-se na avaliação do valor de aderência de tração, usando o método destrutivo de arrancamento (SADOWSKI, 2017). Porém,

este método não explica as teorias da aderência de forma clara e não contribui para o melhor desempenho dos sistemas de revestimentos.

Sadowski (2017) explica que diferentes técnicas de análises e resoluções de análises complementam uma melhor compreensão dos mecanismos de aderência. No caso de uma argamassa, uma adaptação a partir dos estudos do autor seria:

- a) 1º nível (macro) - a interface entre a argamassa e os substratos seria avaliada com base em testes destrutivos ou semidestrutivos. Também é possível a aferição do espalhamento da argamassa (estado fresco) no substrato, além da análise da extensão de aderência (estado endurecido) que a argamassa preencheu nas reentrâncias do substrato;
- b) 2º nível (meso) - a interface é avaliada com base nas características físicas e propriedades mecânicas da argamassa, além da morfologia da superfície do substrato e das características de sucção de água;
- c) 3º nível (micro) - a densidade, a estrutura dos poros e a formação de picos e vales da rugosidade da interface são avaliadas, bem como as alterações dessas propriedades ao longo do tempo;
- d) 4º nível (nano) - a interface é avaliada pela investigação dos efeitos da migração de compostos da hidratação do cimento para a superfície e poros do substrato.

As análises em multiescala solicitam métodos experimentais que permitam caracterizar as propriedades dos materiais em diferentes dimensões de corpos de prova e técnicas, além de correlacionar diferentes empregos em sistemas construtivos.

As aferições de dimensões, esquadros, arestas e resistência à compressão de blocos cerâmicos, solicitados pelas normas ASTM C62 (2013), (ABNT, 2017), EN 771-1 (2011) e NBR (15270), em macroescala, auxiliam na seleção de determinado substrato no projeto arquitetônico quanto à racionalização da construção de sistemas de vedação, porém não possibilitam explicar os mecanismos da aderência desses materiais com as argamassas de revestimentos.

No caso da mesoescala, se considerar a absorção de água, essa propriedade poderá contribuir na escolha do material em função de sua porosidade, assim relacionar a sucção de água desses substratos no sistema de revestimentos e sua

influência na aderência. Outra técnica utilizada nessa escala, contempla a confecção de lâminas delgadas (CARASEK *et al.*, 2014) de substratos cerâmicos, que proporciona a verificação, em 2D, da rede dos poros formados na matriz cerâmica e os minerais que não se fundem durante a sinterização, até a penetração de produtos adesivos nas rugosidades e poros de superfícies.

No caso da microescala, técnicas como perfilometria a laser 3D auxiliam na caracterização da rugosidade de superfície, que possibilita relacionar a área de contato e absorção de água inicial à adesão de materiais, além das facilidades que os métodos de FRX e MEV, acoplados à Espectrometria de raios-x por dispersão de energia (EDS), que fornecem dados quantitativos de elementos químicos por região dos materiais analisados.

O FRX determina, de forma quantitativa, os óxidos presentes no material obtido na forma de pó anteriormente moído. Já o MEV exige uma amostra de tamanho compatível com o porta-amostras do equipamento e metalização prévia do corpo de prova com uma fina camada de ouro, de modo a garantir a adequada condução de corrente elétrica para a obtenção das imagens. A MEV é útil para observar e caracterizar diferentes tipos de materiais de escala nanométrica (nm) à micrométrica (μm). O problema dessa técnica ao explicar os mecanismos de aderência é que o aumento da imagem promove perda de resolução, já que fica restrita a uma área muito pequena.

Os ensaios que utilizam técnicas em nanoescala são destrutíveis e demandam amostras de tamanhos reduzidos, de maneira a inserir os corpos de prova em portas amostras, além de preparo especial exigido para a obtenção de melhores resultados das propriedades.

A nanoescala obtida por AFM auxilia na análise de partículas (grãos, minerais, etc.) de uma matriz, contudo, essa técnica demanda uma identificação com maior número de pontos a serem analisados e, na sequência, os dados resultantes necessitam de tratamentos estatísticos, para então gerar uma reconstrução da amostra em uma escala que permita a caracterização do material e assim tornar a técnica útil na caracterização do material a ser empregado no sistema construtivo.

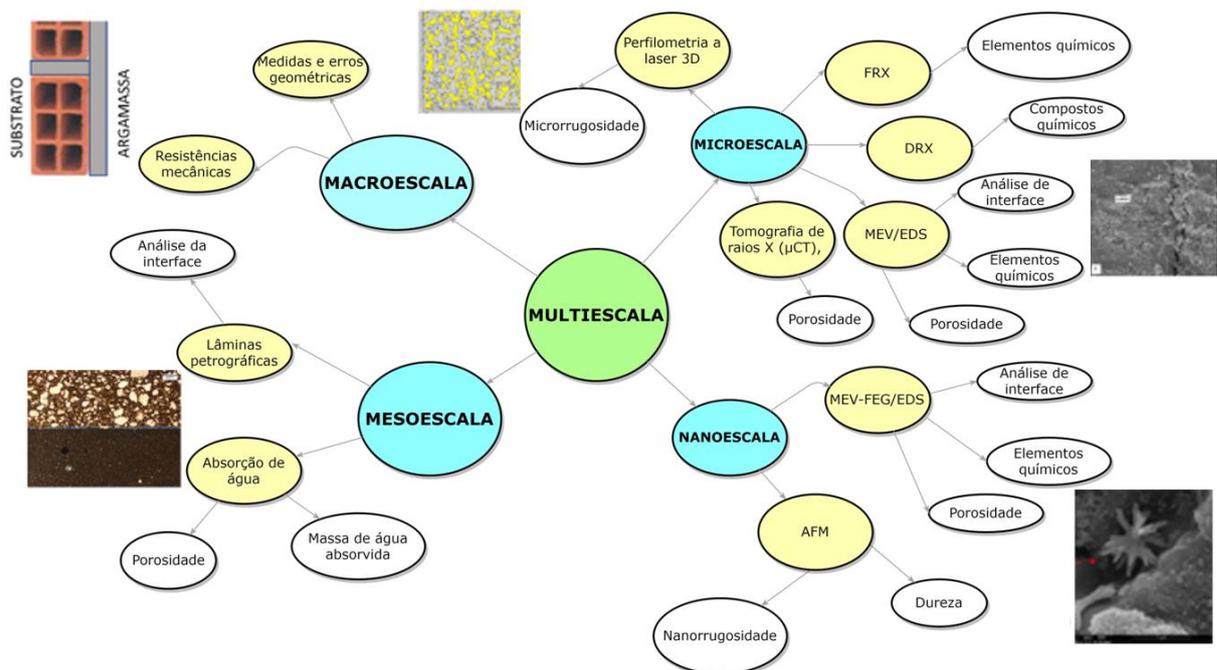
Ressalta-se que no caso do estudo de blocos cerâmicos, tanto a AFM quanto a MEV demandam uma quantificação maior de áreas, de forma a caracterizar a rugosidade da superfície devido à heterogeneidade do material, além de que, conforme a área de varredura vai diminuindo, passa-se a ter uma visão mais

localizada de alguns pontos específicos da amostra e a análise se torna menos reprodutível (ARNOLD, 2021).

A técnica experimental de tomografia de raios X (μ CT) permite a construção de imagens em 3D dos materiais através de microtomografia computadorizada de raios X em escalas de comprimento múltiplas, resoluções até $0,10 \mu\text{m}$ para objetos de até alguns cm, mesmo para materiais mais densos. No caso das amostras que permitam realizar os ensaios de μ CT, estas não devem ser impregnadas, pois podem ocorrer fechamentos de poros através da utilização de resinas.

Neste contexto, Kiefer *et al.* (2020) sugeriram o desenvolvimento de um modelo de material em análise de multiescala, possibilitando prever propriedades eficazes em função das características microestruturais de argilas sinterizadas. A Figura 10 ilustra uma proposta de estudo multiescala para argamassa e substrato, adaptada de Sadowski (2017).

Figura 10 - Proposta de estudo multiescala para análise da interação argamassa e substrato



Fonte: Adaptado de Sadowski (2017).

Dessa forma, há uma perspectiva de emprego de várias técnicas para caracterização, tanto dos blocos cerâmicos quanto das pastas e da interface de contato entre esses, porém não existe uma definição de número de amostras

suficientes, dimensões de amostras que permitam de fato conciliar os dados resultantes ao sistema construtivo ou condições de exposição do material. A tendência atual dos estudos é trabalhar com análise multidimensional, utilizando-se simultaneamente ensaios macro e microestruturais para caracterização das superfícies (ARNOLD, 2021; KIEFER, *et al.*, 2020; KRAKOWIAK; LOURENÇO; ULM, 2011). Desta maneira, baseando-se nos estudos prévios realizados pelos autores pesquisados e pelas lacunas encontradas no que se relaciona à quantificação de rugosidades presentes no substrato e o estabelecimento de relação entre este elemento e os mecanismos de aderência, elaborou-se o programa experimental descrito posteriormente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O Programa Experimental visa atender aos objetivos específicos propostos no estudo, inserindo as condições fixas, variáveis de controle e variáveis de resposta, de modo a contemplar todas as atividades planejadas no estudo. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMC), Laboratório de Caracterização e Valorização de Materiais (LCVMat), Laboratório de Metrologia, Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil e Instituto Tecnológico em Micropaleontologia e VizLab, todos ambientados no campus da UNISINOS. O programa experimental foi dividido em 3 etapas, conforme o fluxograma ilustrado na Figura 11.

A etapa-piloto (Apêndice C) teve como objetivo definir os parâmetros do programa experimental, tais como os materiais (cimento Portland, aditivos superplastificantes e relação água/ligante), tempo de aplicação das pastas e dimensões dos corpos de prova.

A primeira etapa considerou atender aos objetivos específicos de quantificar e classificar as diferenças de rugosidades na superfície de um mesmo bloco cerâmico e as distintas rugosidades em único lote de produção de blocos cerâmicos, além de desenvolver métodos experimentais para análise das rugosidades desses substratos.

A segunda etapa foi destinada aos estudos da resistência de aderência à tração (RAT) de uma mesma pasta de cimento Portland em substratos cerâmicos com diferentes rugosidades, avaliar a variabilidade da aderência em um mesmo substrato, proveniente de um mesmo lote e além disso comparar a resistência de aderência à tração de uma pasta de cimento Portland aplicada sobre substratos cerâmicos com e sem hidrofugante.

Ainda nessa etapa, os resultados de aderência, em áreas de interface de 10x10mm, foram correlacionados aos parâmetros de rugosidade propostos em Tonietto *et al.* (2022); as A_{mv} e os R_{vm} , que correspondem às áreas e alturas médias de vales das superfícies dos blocos cerâmicos, respectivamente. A principal hipótese dessa etapa é que maiores áreas de vales promovem maiores áreas de contato e estas promovem uma maior sucção pela base, pois mais poros são ativos. Contudo, a área de contato formada também depende da reologia da pasta empregada (ANTUNES, 2005; STOLZ, 2015).

Na segunda etapa, a aderência foi aferida por um método de microtração, adaptado de Sano *et al.* (1994), no qual, o ensaio foi realizado por tração da argamassa moldada em uma área quadrada com 10 mm de aresta.

Os objetivos da terceira etapa do trabalho foram avaliar a dispersão da resistência de aderência à tração em um mesmo substrato, proveniente de um mesmo lote, a partir de ensaios em diferentes escalas e diferentes dimensões de áreas de interface formadas entre a pasta de cimento Portland e o substrato cerâmico, além de comparar a resistência de aderência à tração de uma pasta de cimento aplicada sobre substratos cerâmicos com e sem hidrofugante.

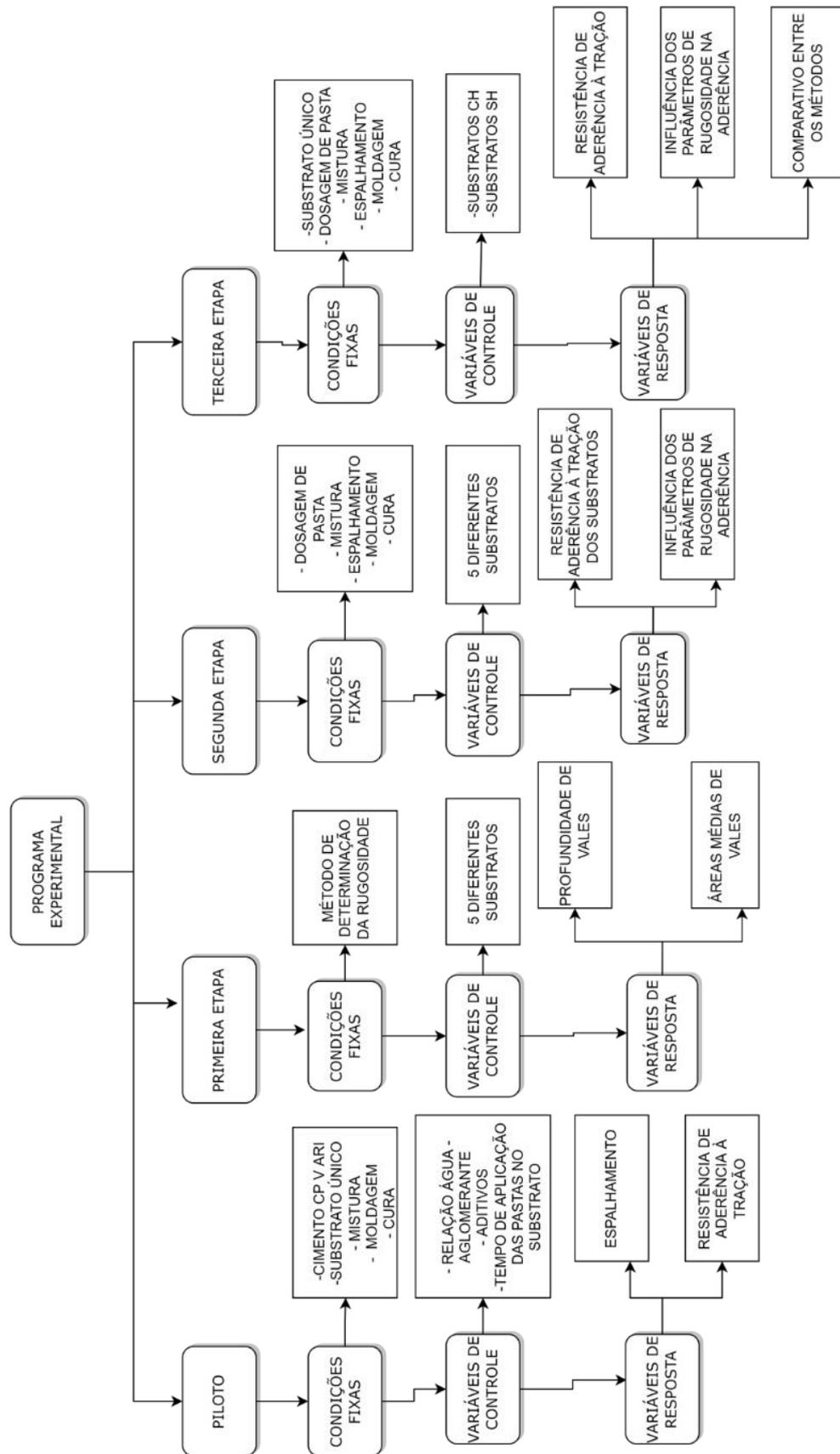
Para atingir os objetivos específicos propostos nessa etapa, foram moldadas, sobre os substratos cerâmicos, pastas de cimento Portland em uma área com 50 mm de diâmetro, para então determinar as diferenças de resistência de aderência à tração, utilizando o método previsto na NBR 13528-3 (ABNT, 2019) por tração direta.

Na terceira etapa, foi adaptado de Scalco *et al.* (2022) o método de determinação de parâmetros de rugosidades em uma área maior que 10x10mm, uma vez que a perfilometria a laser não possibilitou a leitura de um número de pontos superior a 10000. Dessa forma, utilizou-se a fotogrametria para determinação das rugosidades dos blocos cerâmicos em áreas de 35x35mm.

As condições fixas constituem os parâmetros constantes. Os fatores de controle são os parâmetros empregados no programa experimental, estudados em diferentes níveis, com a possibilidade de causar efeito, ou não, nas variáveis de resposta. Para a verificação de quais das variáveis de controle exercem efeito significativo sobre a resposta e se existe diferença significativa nos resultados encontrados nos experimentos propostos, foram utilizadas distintas análises estatísticas comentadas no item 3.2.6 desse trabalho.

Os testes comparam 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%. Os parâmetros estão definidos nas diferentes etapas desse estudo conforme a Figura 11.

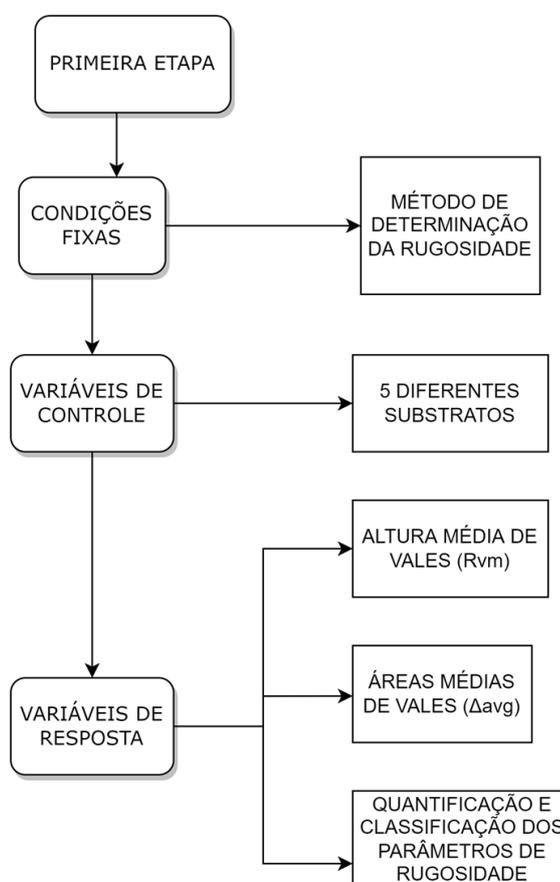
Figura 11 - Diagrama do programa experimental



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A fase piloto (Apêndice C) foi importante para o desenvolvimento e tomadas de decisão da primeira etapa (Figura 12), que tratou do desenvolvimento de um método 3D quantitativo de determinação da rugosidade de substratos cerâmicos em parceria com Arnold (2021) e Tonietto (2021).

Figura 12 – Diagrama da primeira etapa



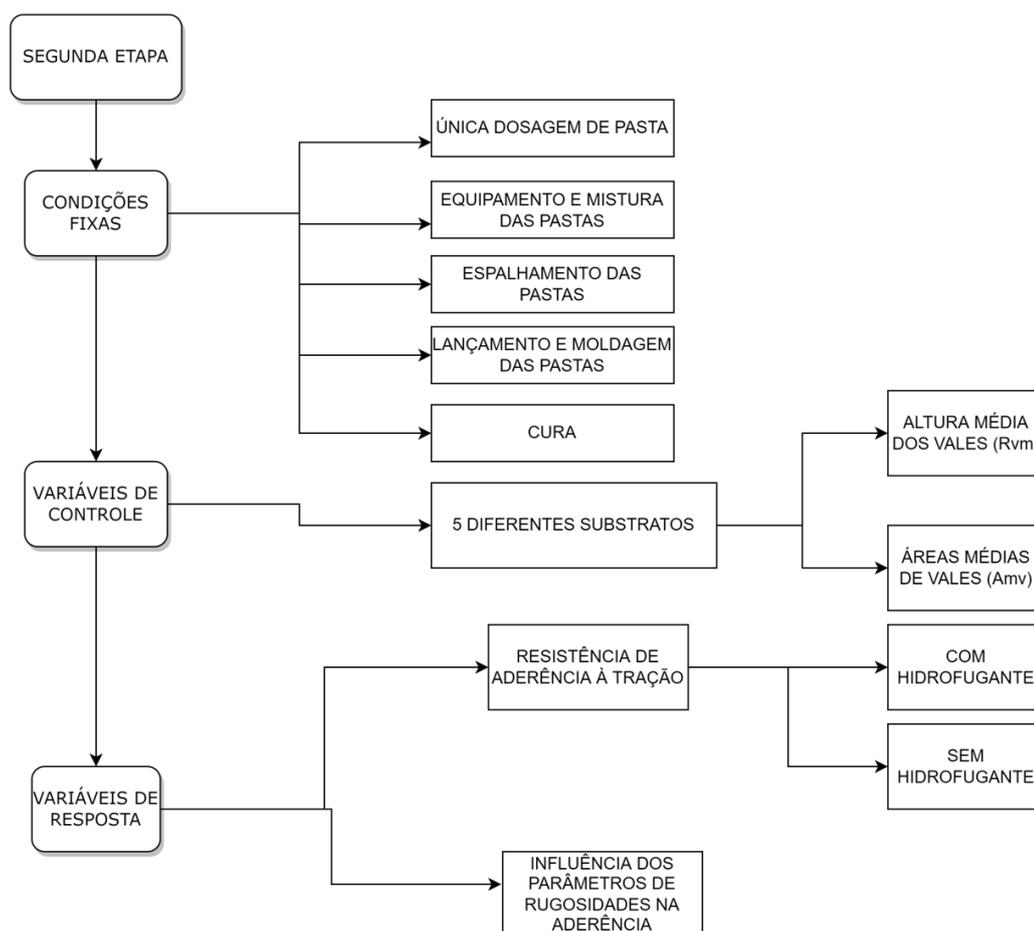
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Anteriormente, existiam trabalhos relacionados aos métodos de aferição da rugosidade em 2D, contudo, verificou-se que os substratos cerâmicos são heterogêneos em função das variações das matérias-primas e dos processos de produção empregados, bem como as distintas temperaturas de queima utilizadas na produção desses produtos, que interferem na absorção de água e rugosidade (PAGNASSUT, 2013; VALENTINI, 2018) e assim, a aferição 3D possibilita determinar de forma mais adequada as diferenças nas superfícies desses materiais.

A partir dos dados de rugosidade de cada substrato, obtidos dos trabalhos de Arnold (2021), Tonietto (2021) e Tonietto *et al.* (2022), foram definidos os locais

para serem realizadas as moldagens das pastas de cimento Portland, e aos 28 dias os respectivos ensaios de RAT e assim, foram correlacionados aos parâmetros de rugosidade (áreas médias de vales e altura média de vales) na segunda etapa (Figura 13).

Figura 13 - Diagrama da segunda etapa



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

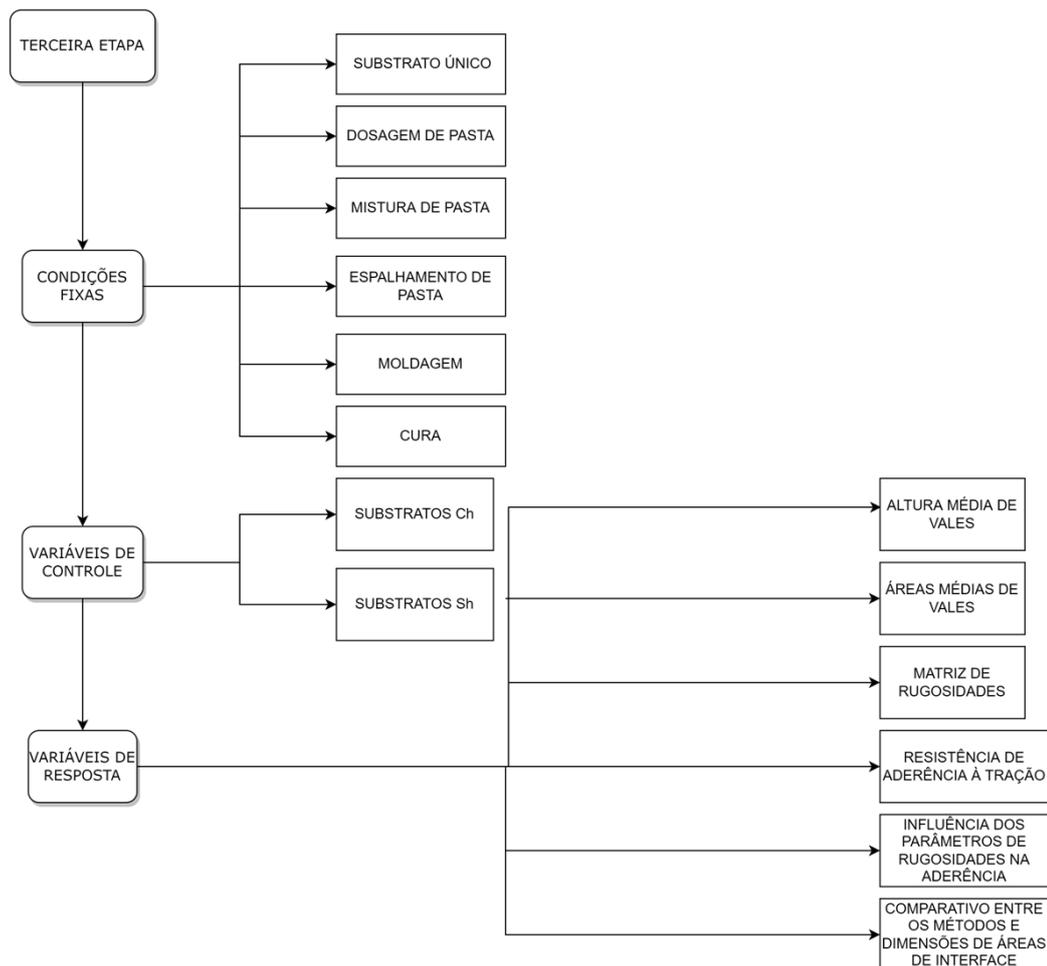
Nessa etapa, as pastas de cimento Portland foram aplicadas e moldadas sobre a superfície dos blocos cerâmicos, nas dimensões 10x10 mm. Os resultados foram comparados quanto à dispersão de valores da RAT em 5 diferentes substratos de blocos cerâmicos e 2 diferentes tratamentos de superfícies: com hidrofugantes (Ch) e sem hidrofugantes (Sh). Foram moldados 400 corpos de prova de 10x10 mm na condição Ch e 100 pontos na condição Sh.

O uso do hidrofugante teve como objetivo eliminar a influência da diferença de capilaridade entre os substratos, permitindo avaliar de forma mais clara a influência da rugosidade na resistência de aderência.

Ressalta-se que, em função da elevada variabilidade de rugosidade encontrada entre os tipos de blocos estudados e também entre os blocos provenientes de uma mesma olaria, a variável rugosidade não ficou restrita a apenas 5 valores distintos, mas sim ao conjunto de rugosidades determinado experimentalmente no universo amostral.

O fluxograma da terceira etapa consta da Figura 14.

Figura 14 - Diagrama da terceira etapa



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

As rugosidades dos substratos cerâmicos da terceira etapa foram aferidas por técnica de fotogrametria, uma vez que o equipamento utilizado na segunda etapa, o *Light Detection And Ranging* (LiDAR), quando aplicado a áreas maiores, contabiliza apenas 10000 pontos e não consegue caracterizar uma área maior que 10x10mm e aferir com maior resolução. O método da fotogrametria foi realizado em uma área de

35x35 mm, plana e com a presença de fissuras e imperfeições existentes nos substratos cerâmicos, e dessa forma teve o objetivo de associar a rugosidade com a aderência. No caso do método da perfilometria a laser, as áreas foram selecionadas sem a presença de defeitos visuais.

Assim, escolheu-se, para a terceira etapa, o substrato de uma única olaria, duas situações de superfícies Ch e Sh e a mesma dosagem da pasta empregada na segunda etapa. A análise da RAT, em macroescala, foi caracterizada através do método estabelecido na NBR 13528-3 (ABNT, 2019), de tal modo que as moldagens das amostras foram realizadas de forma individual e circulares de 50 mm por face de substrato de 95x100 mm.

Nas moldagens 10x10 mm, na etapa-piloto, as pastas de cimento Portland foram aplicadas com uma espessura de 5 mm, por facilitar a desforma e reduzir as perdas de amostras. Contudo, observou-se que, para as amostras de 50 mm, essa espessura ocasionou retração excessiva das pastas de cimento Portland moldadas, devido à movimentação da água intensa observada na interface da pasta aplicada nos blocos cerâmicos, impossibilitando a realização de análises. Desse modo, optou-se por moldar os corpos de prova com a espessura de 10 mm na terceira etapa. O tempo de sarrafeamento dos substratos Sh foi de 15 minutos e para as amostras Ch foi de 30 minutos.

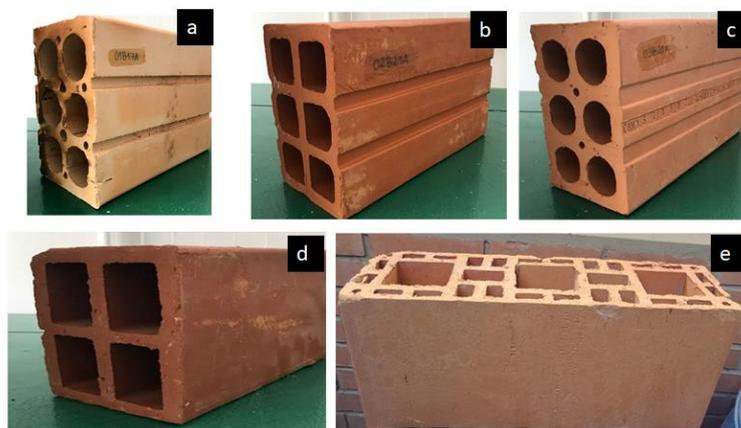
3.1 MATERIAIS

Os materiais selecionados foram blocos cerâmicos, cimento CP V - ARI, aditivos e hidrofugantes.

3.1.1 Caracterização dos blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos foram selecionados de superfícies lisas provenientes de cinco diferentes olarias (Figura 15).

Figura 15 - Blocos cerâmicos: a) substratos da olaria 1; b) substratos da olaria 2; c) substratos da olaria 3; d) substratos da olaria 4; e) substratos da olaria 5



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A escolha dos substratos se justifica por apresentarem superfícies com propriedades distintas, possibilitando a análise da diferença existente na interface de cada um deles com a pasta de referência. Os blocos cerâmicos foram, em cada olaria, provenientes de um mesmo lote, sinterizados em distintas temperaturas de queima. Ressalta-se que as diferenças de superfície são estimadas a partir do fato de serem provenientes de olarias diferentes, com massas cerâmicas, processos de extrusão e ciclos de queima distintos.

Os blocos cerâmicos das olarias estão caracterizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características dos blocos cerâmicos

Substratos	Tipo de forno	Temperatura de queima	Modelo e dimensões	Tipo de bloco
1	Caracol	870°C	Modelo: 6 furos; Dimensões: 12 x 19 x 26 (cm)	Vedação
2	Túnel	950°C	Modelo: 6 furos; Dimensões: 9 x 14 x 23,5 (cm);	Vedação
3	Túnel	930°C	Modelo: 6 furos; Dimensões: 9 x 14 x 24 (cm);	Vedação
4	Túnel	869 °C	Modelo: 4 furos; Dimensões: 9 x 14 x 19 (cm);	Vedação
5	Túnel	900 °C	Modelo: 2 Furos quadrados; Dimensões: 14 x 19 x 44 (cm);	Estrutural

Fonte: Adaptado de Arnold (2021).

Os blocos cerâmicos foram selecionados de maneira a buscar o modelo de maior comercialização em cada olaria (ARNOLD, 2021), para ter amostragem

representativa em relação aos blocos utilizados na construção civil. Os blocos de vedação foram adquiridos sinterizados, foram lavados, secos em estufa a temperatura de 100°C até a constância de massa, limpos com jato de ar e identificados, para posterior caracterização de rugosidade.

Para caracterizar as argilas utilizadas na produção dos blocos cerâmicos utilizados no estudo, foi realizada análise de FRX, a fim de caracterizar os principais compostos químicos presentes nas amostras (Tabela 3).

Tabela 3 - Dados percentuais dos principais compostos químicos obtidos pelas técnicas de FRX

Substratos	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Perda ao fogo (%)
1	0,42	0,34	12,55	49,11	0,17	0,02	0,64	0,04	0,79	0,01	2,81	1,20
2	0,10	0,29	13,45	36,43	0,16	N.D	0,46	0,12	1,37	0,07	9,42	1,16
3	0,10	0,53	11,00	48,44	0,13	0,04	1,81	0,11	0,58	0,02	5,53	0,68
4	0,11	0,41	12,11	35,64	0,16	N.D	0,58	0,26	1,20	0,16	12,20	0,92
5	0,40	1,15	9,86	32,92	N.D	0,36	2,91	0,98	0,74	0,11	8,89	0,79

Fonte: Adaptado de Arnold (2021).

O somatório não contemplou 100% dos compostos químicos, uma vez que alguns elementos presentes nas argilas analisadas não constavam no padrão de calibração. O FRX utilizou o equipamento modelo EDX 720 HS, marca Shimadzu, e foram realizadas no Laboratório de Materiais – LCVMAT da Unisinos. Ao analisar a composição química dos blocos cerâmicos, produzidos pelos diferentes substratos, perceberam-se diferenças. Do resultado da análise química, pode-se verificar que aproximadamente 60% de cada matéria-prima analisada é constituída basicamente por SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃.

Os substratos 2, 4 e 5 apresentam teores de óxidos corantes (Fe₂O₃ e TiO₂), respectivamente, 10,80%, 13,39 % e 9,63%, resultando uma cor de queima avermelhada (ARNOLD, 2021). Já as olarias 1 e 3 apresentaram teores óxidos corantes, 3,60% e 5,51%, respectivamente. Os substratos das olarias 3 e 5 exibiram um percentual maior de K₂O, respectivamente 1,81% e 2,91%.

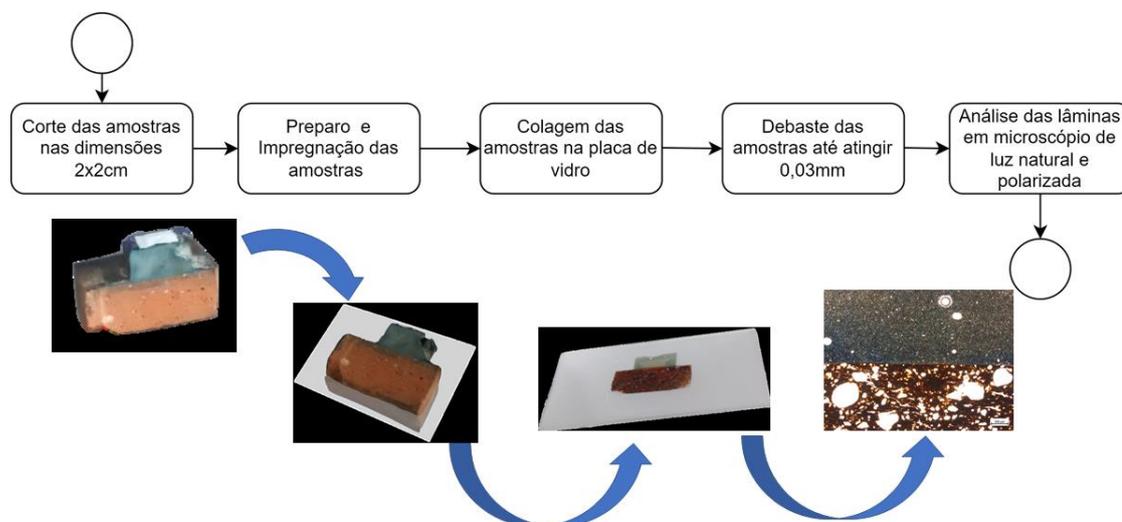
Esses compostos químicos fundentes na massa cerâmica tendem a reduzir a temperatura de formação de fase líquida durante o processo de queima das massas cerâmicas, de forma que este líquido formado preenche as cavidades da amostra cerâmica e dependendo da sua viscosidade, ocorre também a diminuição da

porosidade, aumenta a densidade do material, reduzindo a absorção de água e aumentando a resistência mecânica (SOUZA, 2008). A fase líquida, quando resfriada, transforma-se em filamentos finos de vidro, que tendem a preencher os vazios das peças cerâmicas (PINHEIRO; HOLANDA, 2010). Os blocos cerâmicos utilizados no estudo não apresentaram temperatura de queima acima de 950°C.

Os óxidos de ferro reforçam a ação dos fundentes K_2O e Na_2O , fazendo com que a fusão inicie em temperaturas ainda mais baixas e com fase líquida mais abundante (SOUZA, 2008). Os K_2O e Na_2O originam líquidos viscosos, com dificuldade em cristalizar e que tendem a permanecer no corpo queimado como fases vítreas. Outra caracterização realizada nas amostras de blocos cerâmicos foi desenvolvida através de lâminas petrográficas.

A preparação de lâminas petrográficas é o ponto de partida para diversos estudos em rochas, servindo à petrografia. No caso do estudo de aderência foi aplicado por Carasek *et al.* (2014). As amostras selecionadas para o preparo das lâminas petrográficas foram cortadas a partir das moldagens de 10x10 mm (Figura 16), essas foram seccionadas em dimensões 2x2 cm em serra de precisão, que emprega disco diamantado espessura 2 mm.

Figura 16 - Fluxograma do processo de preparo das lâminas petrográficas



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

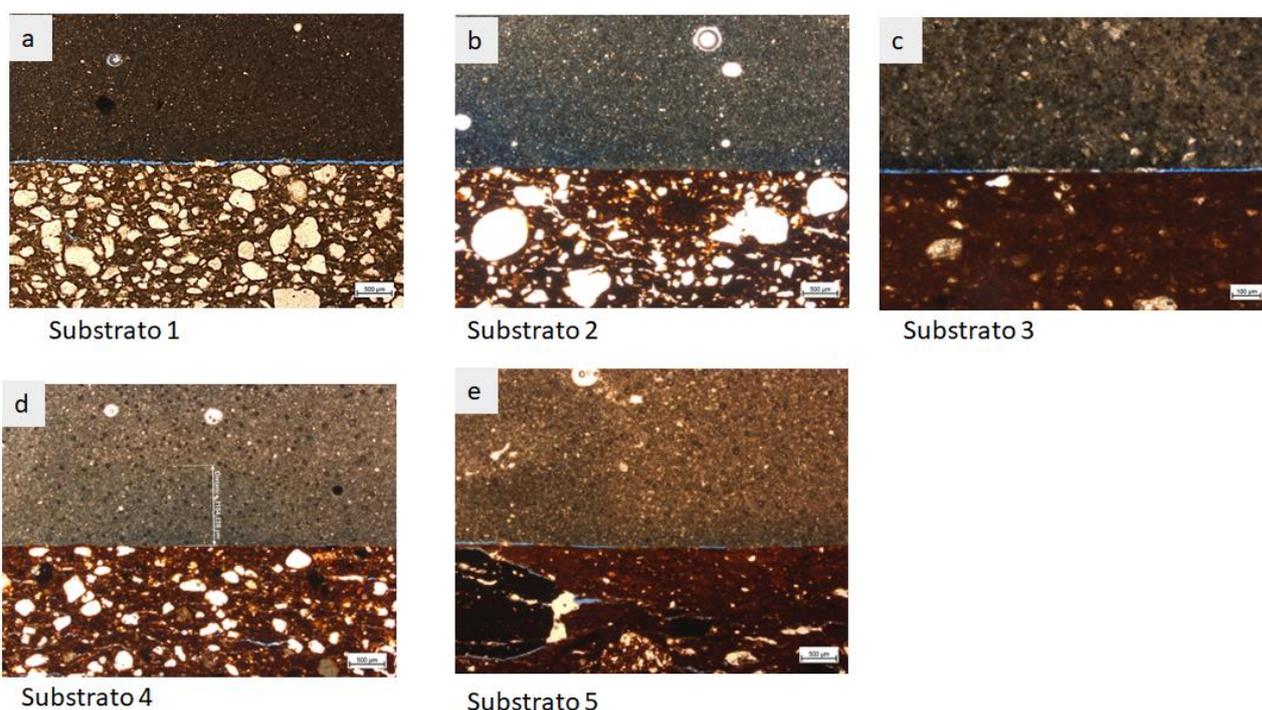
O procedimento de produção de lâminas petrográficas é o polimento na face oposta da lâmina com abrasivo em politriz. A outra fatia da amostra recebe semelhante tratamento, objetivando retirar as marcas da serra. Estas lâminas foram

identificadas com número da amostra coletada e foram submersas em solução de Azul de Ceres. Na politriz, lado colado no bloco, é lixado no Carbureto de Silício de granulometria 200, 400 e 600 respectivamente, até ficar plano.

O desbaste da lâmina foi realizado na serra diamantada para reduzir o máximo da espessura possível. Em seguida, continuou-se o desbaste na politriz no Carbureto de silício de granulometria 200, 400 e 600. A politriz utilizada foi a de bancada, com dois discos de aço para desbaste com o Carbureto de Silício, marca: Newton Rocha Motor WEG: Potência (HP) 1/2, Rotação (RPM)1720, Voltagem (V) 110/220v, 60Hz. O acabamento final foi realizado a mão em uma placa de vidro (25x30x0,5 cm) com Carbureto de silício de granulometria 800 e 1200. Nessa fase, o processo foi realizado com o auxílio de um microscópio monocular, para que pudesse controlar a espessura padrão (0,03 milímetros) da lâmina.

Foram confeccionadas 5 lâminas petrográficas (Figura 17) no Laboratório de Laminação Petrográfica da Unisinos, sendo 1 lâmina por olaria, analisadas com Microscópio: Axio Lab. A1 Luz natural e polarizada / marca Zeiss e Câmera acoplada: AxioCam MRc / Marca Zeiss para aquisição de imagens de aumento 5x – 500 μm .

Figura 17 - Lâminas petrográficas dos substratos: a) Substratos 1; b) Substratos 2;c) Substratos 3; d) Substratos 4; e) Substratos 5



As lâminas petrográficas permitiram verificar que os substratos 1, 2 e 4 apresentam mais sílica, e dessa forma essas análises foram coerentes com os resultados de absorção capilar (item 3.2.2), em que os respectivos substratos apresentaram, na fase II, absorções de água por capilaridade de valores superiores quando comparados aos substratos 3 e 5, caracterizados na condição Sh.

As lâminas delgadas exibiram a heterogeneidade das rugosidades dos blocos cerâmicos e diferenças de composição mineral entre as matrizes cerâmicas. Dessa forma, possível visualizar a interferência dos quartzos e minerais, que não se fundem no processo de sinterização dos blocos cerâmicos, e formam os picos e vales na superfície dos substratos.

3.1.2 Características do hidrofugante

O hidrofugante empregado nesse estudo foi à base de silano/siloxano disperso em solvente, de alta capacidade de penetração no substrato. As características do hidrofugante segundo o fabricante, são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do hidrofugante

Densidade (a 25°C)	~ 0,77 a 0,83 g/cm ³
Teor de sólidos	2,0 a 2,5 %
Secagem total do produto	24 horas

Fonte: Fabricante (2022).

O uso do hidrofugante teve como objetivo eliminar a influência da diferença de capilaridade entre os substratos, permitindo avaliar de forma mais clara a influência da rugosidade na resistência de aderência. As amostras, denominadas Ch, foram submersas em hidrofugantes à base de silano-siloxano por 30 segundos e após a secagem do produto, estas foram armazenadas em embalagens plásticas e colocadas em sala climatizada.

Para Costa (2014), o silano é um dos produtos mais utilizados para o tratamento superficial de substratos cerâmicos, uma vez que promove a formação de ligações covalentes na interface substrato-matriz. A incorporação dos silanos nestes materiais favorece a dispersão do polímero e a compatibilidade, na medida em que torna a superfície organo-reativa.

Mansur *et al.* (2007) constataram que a aplicação de silanos em grupos funcionais distintos, com exceção do vinil, no tardo de azulejos, aumenta a aderência entre argamassa/substrato, alterando, inclusive, a forma de ruptura da interface para o interior da argamassa.

3.1.3 Caracterização das partículas do cimento CP V - ARI

Para a produção das pastas de cimento Portland, a proposta foi de emprego do cimento CP V - ARI. Os ensaios de caracterização do cimento CPV - ARI (Tabela 5) foram realizados no Laboratório de Materiais (LCVMAT) da Unisinos.

Tabela 5 - Caracterização do cimento CP V – ARI

Caracterização	Fração do cimento	CP V – ARI
Física	BET	1,3912±0,0024
	Densidade por picnometria a gás Hélio (g/cm ³)	3,0450±0,0013
	D10 (µm)	5,22
	D50 (µm)	13,04
	D90 (µm)	29,76
	Mz	14,94
Química	Na ₂ O (%)	0,654
	MgO (%)	2,473
	Al ₂ O ₃ (%)	2,445
	SiO ₂ (%)	14,977
	P ₂ O ₅ (%)	0,121
	SO ₃ (%)	1,598
	K ₂ O (%)	0,689
	CaO (%)	52,767
	TiO ₂ (%)	0,179
	Cr ₂ O ₃ (%)	0,005
	MnO (%)	0,091
	Fe ₂ O ₃ (%)	2,631
	ZnO (%)	0,004
	SrO (%)	0,283
L.O.I (%)	6,15	

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A escolha do cimento CP V - ARI é porque o material apresenta apenas adição de materiais carbonáticos em sua composição (clínquer e finos calcários) e assim, menor variabilidade de tipos de partículas quando comparado aos cimentos com adições pozolânicas, ou escória de alto forno.

Dentre as características do cimento CP V - ARI, vale ressaltar que a finura é um dos parâmetros mais significativos na resistência, pois o aumento da finura dos cimentos acarreta um aumento da atividade superficial das partículas na hidratação (SILVA, 2004). Também é conhecido que um cimento mais fino tende a aumentar a resistência de aderência da argamassa (CARASEK *et al.*, 2001), permitindo a obtenção de valores de aderência adequados para os ensaios comparativos previstos no programa experimental, mesmo sem o preparo do substrato por meio de chapisco.

O FRX dos cimentos utilizou o equipamento modelo EDX 720 HS, marca Shimadzu. Para a realização da caracterização física dos materiais foram utilizadas as técnicas de área superficial específica por adsorção de nitrogênio (BET), massa específica por picnometria a gás hélio e granulometria por difração a laser. A técnica de BET foi determinada pelo equipamento TriStar II Plus da marca Micromeritics®. A massa específica foi caracterizada por picnometria a gás hélio pelo equipamento Picnômetro modelo AccuPyc II 1340 da Micromeritics®. Para o ensaio de granulometria por difração a laser utilizou-se o equipamento Microtac modelo S3500, analisado por via úmida e solvente álcool isopropílico.

3.1.4 Características dos aditivos superplastificantes

Os aditivos superplastificantes utilizados são à base de policarboxilatos e proporcionam manutenção da trabalhabilidade por elevados períodos, conforme os fabricantes. Além disso, o objetivo de emprego do aditivo foi de promover uma maior dispersão das partículas e maior fluidez (AITCIN, 2000). A caracterização dos aditivos é listada na Tabela 6.

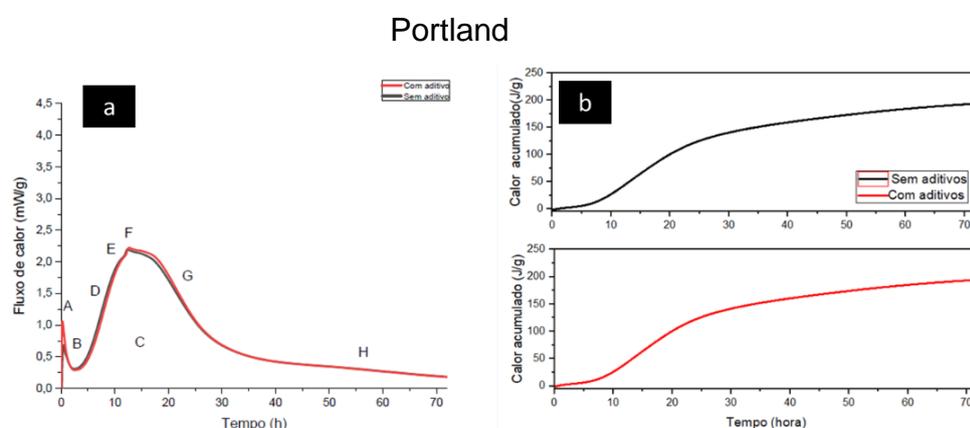
Tabela 6 - Características dos aditivos

Aditivo	Dosagem recomendada (sob peso do cimento) %	pH	Massa específica g/cm ³	Teor de sólidos %
AD1	0,2 a 1,0	5 a 7	1,07 - 1,11	28,50-31,50
AD2	0,3 a 2,0	4,5 a 6,5	1,08 a 1,12	44,35-49,01

Fonte: Fabricantes (2022).

A geração de calor decorrente da hidratação do cimento, com aditivo (curvas em vermelho) e sem o aditivo (curvas em preto), foi caracterizada por calorimetria a 22°C por 72 horas. Os ensaios foram realizados na Universidade Federal do Rio Grande do Sul e o equipamento empregado foi o *Tama ir microcalorimeter* com sensibilidade de ± 20 microW. Os gráficos resultantes das pastas de cimento Portland ensaiadas com e sem aditivo são exibidas na Figura 18 (a e b).

Figura 18 - Gráficos de fluxo de calor e calor acumulado das pastas de cimento



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Dos ensaios de calorimetria explica-se que, quando o cimento é misturado com água, uma série de reações, tais como a dissolução de sulfato e hidratação de fases de aluminato, são importantes para o entendimento da reologia de matrizes cimentícias, em virtude das resistências mecânicas.

A figura 18 a e b: ocorre um rápido aumento inicial no calor durante os primeiros minutos após a água e o cimento terem feito contato. O pico de energia térmica muito alto, correspondente no tempo zero, é indicado no ponto A. Já o ponto B indica o período de indução, em que o intervalo ocorre entre 20 min e 110 min, aproximadamente. A letra D aponta o período de aceleração e a letra G indica o

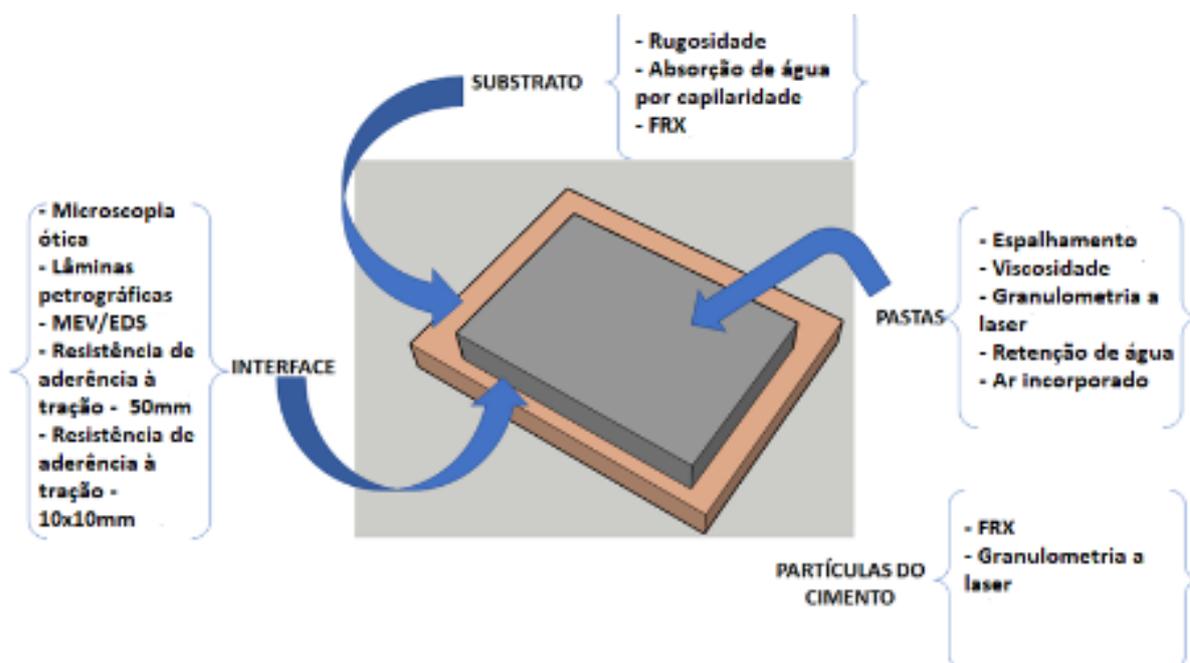
período de desaceleração. O pico de depleção de sulfato, relacionado ao início da hidratação de aluminato secundário, é indicado pela letra F. Os primeiros 30 min de hidratação contribuem com menos de 10 J / g para o calor de hidratação (JUSTS *et al.*, 2014).

Aditivos superplastificantes mostram um retardo do endurecimento e do pico principal de hidratação (RIXON; MAILVAGANAM, 1999). O retardo pode ser explicado pelo fato de que menos misturas são incorporadas nos produtos de hidratação inicial do que no caso de adição direta, conforme Ramachandran (1996). No caso do aditivo utilizado nesse estudo, o retardo não interferiu nas moldagens das pastas de cimento e contribuiu para o espalhamento desejado.

3.2 MÉTODOS

O programa experimental (Figura 19) envolveu métodos de caracterização da interface substrato/pastas, além do estudo da influência da rugosidade dos diferentes substratos e pastas confeccionadas com partículas do cimento CP V - ARI, com ênfase nos mecanismos da aderência.

Figura 19 - Métodos experimentais



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

3.2.1 Caracterização da rugosidade dos blocos cerâmicos

Esse estudo desenvolveu, em parceria com Arnold (2021) e Tonietto (2021), um método para avaliação dos coeficientes de rugosidade superficial e área de vales dos blocos cerâmicos a partir de múltiplos planos. Esses trabalhos tratam de uma metodologia quantitativa de determinação da rugosidade 3D para blocos cerâmicos, nos quais foram propostos novos parâmetros, com o objetivo de verificar a influência da rugosidade dos blocos cerâmicos na aderência de argamassas de revestimentos.

Para validar o método foram utilizadas 500 amostras, de cinco diferentes olarias. O objetivo de fazer esta seleção de amostras foi fornecer variabilidade ao teste em relação ao processo de fabricação de blocos cerâmicos, uma vez que os blocos de cada olaria têm composição mineral diferente, processo de mistura, conformação e temperatura de sinterização distintos.

A hipótese dos estudos de Arnold (2021), Tonietto (2021) e Tonietto *et al.* (2022) foi que variações de rugosidade e de ondulação dos blocos cerâmicos influenciam nas propriedades de aderência destes aos revestimentos, por meio da alteração da área de contato (ARNOLD *et al.*, 2021; EK *et al.*, 2016; GRIGORIADIS, 2016; MYSHKIN; PETROKOVETS; CHIZHIK, 1998; POUR, 2016; TONIETTO *et al.*, 2019; TONIETTO, 2021; TONIETTO *et al.*, 2022).

Para a obtenção da nuvem de pontos referente à topografia dos blocos cerâmicos foi utilizado o equipamento a laser 3D (LiDAR), da marca Starrett AV 300+, com resolução em X e Y de E2 1,90 μm +5L/1000 e resolução em Z de E1 2,50 μm +5L/1000, resolução de escala de 0,10 μm .

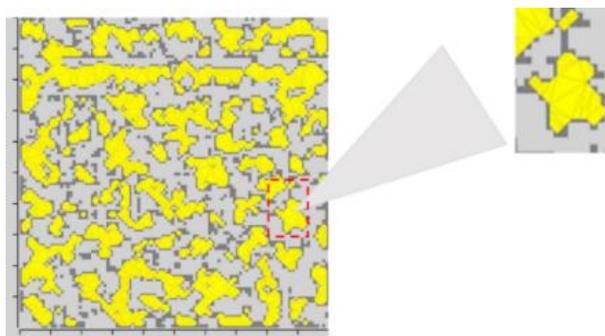
Após a obtenção dos pontos, Tonietto (2021) processou no *software* desenvolvido pelo autor e representou os coeficientes de rugosidade como uma *quadtree* para cada nuvem de pontos das superfícies geradas pelo *software* do equipamento a laser 3D, de forma que os dados exportados foram traduzidos em uma estrutura de vértice 3D. Uma *quadtree* é uma estrutura de dados em árvore, na qual cada nó interno tem exatamente quatro áreas e são frequentemente usadas para dividir um espaço bidimensional, subdividindo-o recursivamente em quatro quadrantes ou regiões. As regiões subdivididas podem ser quadradas ou retangulares, ou podem ter formas arbitrárias.

Conforme Tonietto (2021), as medições de rugosidades são as diferenças de alturas dos pontos da nuvem em relação ao plano de ajuste que representa essa

nuvem de pontos. O plano de ajuste pode ser entendido como uma superfície lisa que representa a nuvem de pontos. O plano de ajuste foi obtido pelo método dos mínimos quadrados, a partir de uma regressão planar da nuvem de pontos 3D para a representação do plano 2D, através da regressão múltipla. Dessa forma, o método dos mínimos quadrados determina os coeficientes do plano de ajuste, minimizando o erro (resíduo) quadrado dos dados. Assim, os parâmetros de rugosidade são calculados a partir do ajuste de plano. A divisão de áreas de superfícies foi implementada no *software* desenvolvido pelo autor. Essas divisões de áreas ocorreram nas direções XY.

O estudo determina a rugosidade média da superfície de vários planos. Dessa maneira, dois parâmetros foram propostos para a análise da área do vale: a altura média de vales (R_{vm}) e a área média dos vales (A_{mv}). O parâmetro A_{mv} é a área total de vales dividida pelo número de vales. O método proposto nesses trabalhos para a análise de áreas de contato, classifica regiões superficiais que são vales (Figura 20) e identifica “lagos” que se formam nestas regiões, onde haverá uma tendência para uma maior concentração de grãos de ligante sobre o substrato em análise, uma pasta de cimento. As áreas dos lagos são computadas para determinar a área total de vales, ou a superfície onde os grãos do aglomerante somente conseguem penetrar e entrar em contato com a superfície do substrato se possuírem dimensão de grãos e reologia compatível com as dimensões dos vales existentes.

Figura 20 - Classificação das regiões de área de vale



Fonte: Adaptado de Tonietto *et al.* (2022)

Para o cálculo dos lagos que formam os vales, apenas as regiões que possuem pontos de borda (limite do lago) e pelo menos um ponto interno (que não

pertence à aresta) são considerados. A borda é o limite na altura do plano da região (ou limite definido de acordo com o parâmetro de nível selecionado). Por exemplo, um ponto onde a altura (distância de um ponto ao plano) é zero é um ponto que está exatamente acima do plano.

Por padrão, esse parâmetro de nível é definido como zero, portanto, a altura do plano médio local. Todos os pontos abaixo do nível selecionado são considerados pontos de vale. Para classificar as áreas, é necessário realizar algumas etapas de preparação das informações, até o cálculo das áreas de vales definidas por lagos, e assim Tonietto (2021) utilizou algoritmos de segmentação e classificação. Os detalhamentos sobre o cálculo, a inserção e a análise destes dados no *software* estão em Tonietto (2021), que desenvolveu o seu trabalho em parceria com este estudo.

Conforme Tonietto *et al.* (2022), para segmentar e classificar as regiões de lagos, a nuvem de pontos é representada em uma imagem 2D como um mapa de altura (Figura 21). A partir dela, uma imagem binária é criada para separar *pixels* em um vale ou pico, que é usada para criar uma imagem que represente os segmentos das regiões de vale da amostra. No mapa de altura, cada ponto na nuvem está associado a um pixel na imagem.

Figura 21 - Mapa de altura

19.847	15.747	13.799	19.707	13.202	19.385	17.044	19.192
21.478	18.176	15.047	17.724	21.196	19.409	18.028	17.521
23.908	15.901	17.047	21.416	22.403	15.256	18.807	19.540
19.319	26.181	17.355	16.605	18.116	17.603	15.171	17.601
18.504	22.144	18.945	17.739	19.729	21.036	18.708	22.936
18.557	18.947	18.684	26.738	20.139	30.926	26.853	16.840
23.745	16.474	18.447	18.481	20.157	25.700	29.153	18.724
25.081	17.702	17.067	18.131	31.706	35.526	33.940	23.980

Fonte: Adaptado de Tonietto (2021).

Dependendo do valor absoluto da distância (altura) do ponto, a partir do nível de ajuste e dos valores mínimo e máximo de vale de pico, o *pixel* correspondente recebe um tom de cinza associado, respectivamente, na escala de preto a branco [0.1]. Se o ponto está abaixo do nível de ajuste, o *pixel* correspondente é interpolado

entre cinza médio (0,5) e o preto (0,0); se um ponto estiver acima do nível de ajuste, o pixel receberá um tom de cinza de médio (0,5) para branco (1,0). Dentro da imagem do mapa de altura, é possível perceber informações de topografia, incluindo partes da superfície que têm um nível de informação de ondulação, ou mesmo relevo.

A partir da imagem do mapa de altura, é criada uma imagem binária, separando os pontos dos vales e dos picos. Este processo de binarização é um pré-processamento para a segmentação e classificação das áreas de vale. Para cada *pixel* da imagem do mapa de altura, é criado um *pixel* da imagem binária. A cor deste *pixel* será branca (1,0) se o *pixel* do mapa for maior que cinza médio (0,5); ou ficará preto se o *pixel* do mapa for menor maior ou igual a (0,5). A imagem binária contém apenas a separação de *pixels* acima ou abaixo do nível de ajuste. As regiões precisam ser separadas em diferentes conjuntos ou segmentos. A partir da imagem binária, o processo de segmentação e classificação dos *pixels* de áreas de vales conectados é realizado, a fim de identificar e separar as regiões do vale. Uma região de vale é uma coleção de *pixels* pretos.

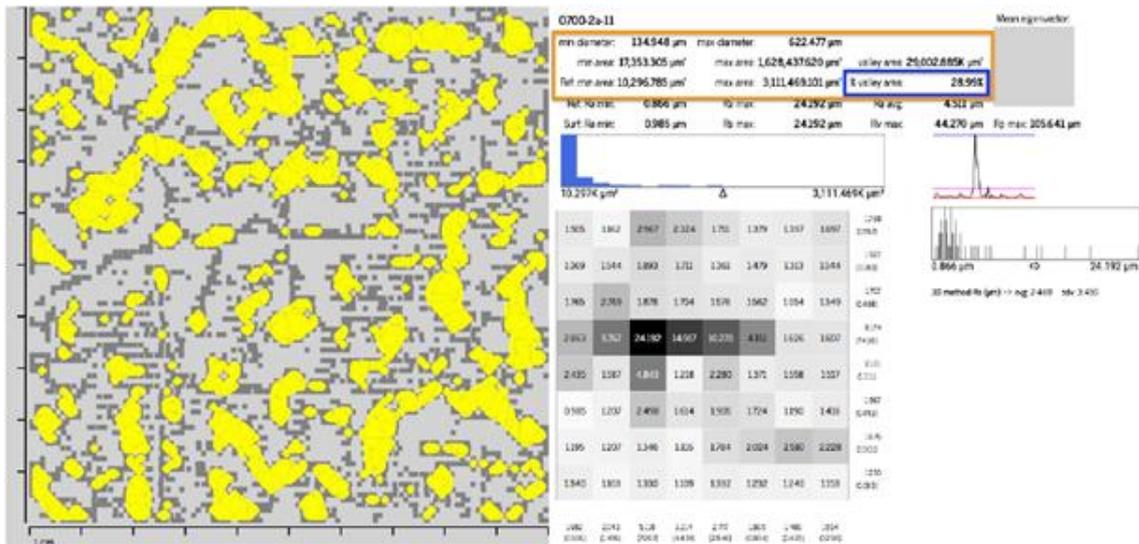
Para cada região de lago da amostra é computada a área do lago a partir da triangulação por Delaunay. A triangulação por Delaunay é obtida após montagem do diagrama de Voronoi, tomando como pontos de referência cada ponto da nuvem que pertence a área do lago. A área total de cada lago (ΔL) é a soma dos triângulos (áreas amarelas na Figura 22). A área total de lagos (ΔS) é a soma das áreas de todos os triângulos. A partir dessa área total são computados os parâmetros de área de vales, proposto em Tonietto *et al.* (2022).

O parâmetro de índice de área de vale (ΔT) é computado como um percentual, dividido ΔL pela área total da superfície ($\Delta_{surface}$), pois o tamanho da área da superfície apresenta pequena variação de dimensões entre as amostras, devido a características de precisão na aquisição das informações.

O parâmetro apresenta uma forma de entendimento da área de vales, mas deve-se ter em consideração que uma amostra pode apresentar uma única grande área de vales, o que pode não representar adequadamente o favorecimento à aderência por área de contato. Por isso, em Tonietto *et al.* (2022) é proposto o parâmetro de área de média de vales (Amv). O Amv é computado com o ΔT dividido pela quantidade de áreas da amostra.

A Figura 22 ilustra as informações visuais sobre as áreas de vales da superfície (*pixels* amarelos). Na metade direita, são mostradas as medições de rugosidade Ra da amostra e referência (Ra mín e Ra máximo). As informações gráficas apresentadas são a assinatura de rugosidade, gráficos de comportamento e distribuição de valor Ra são mostrados no canto inferior direito. Os parâmetros relativos à área do vale estão destacados (quadro em laranja) e o índice de área do vale (ΔT) da amostra é salientado em azul.

Figura 22 - Caracterização das rugosidades por perfilômetro a laser 3D

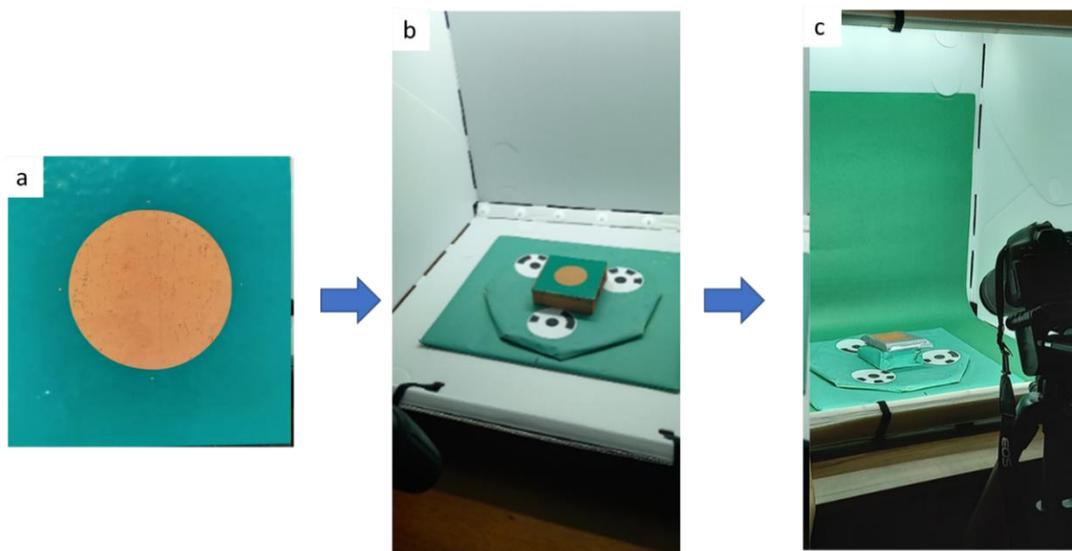


Fonte: Adaptada de Tonietto *et al.* (2022).

Na terceira etapa, as amostras empregaram os substratos da olaria 5 e foram cortadas da face com dimensão de 19x44 cm, divididas em 6 partes de 95x100 mm. Após o corte das faces, essas foram lavadas e secas em estufa a 100°C por 24 horas até a obtenção da constância de massa.

As amostras 95x100mm receberam um adesivo com um furo de 53 mm (Figura 23a) e foram caracterizadas quanto à rugosidade empregando a técnica fotogrametria, utilizando um estúdio fotográfico portátil, de 60x60x60 cm, iluminado por 3 barras de LED, pré montado com 3 luminárias de LED (Figura 23b e c).

Figura 23 - Caracterização das rugosidades por fotogrametria



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

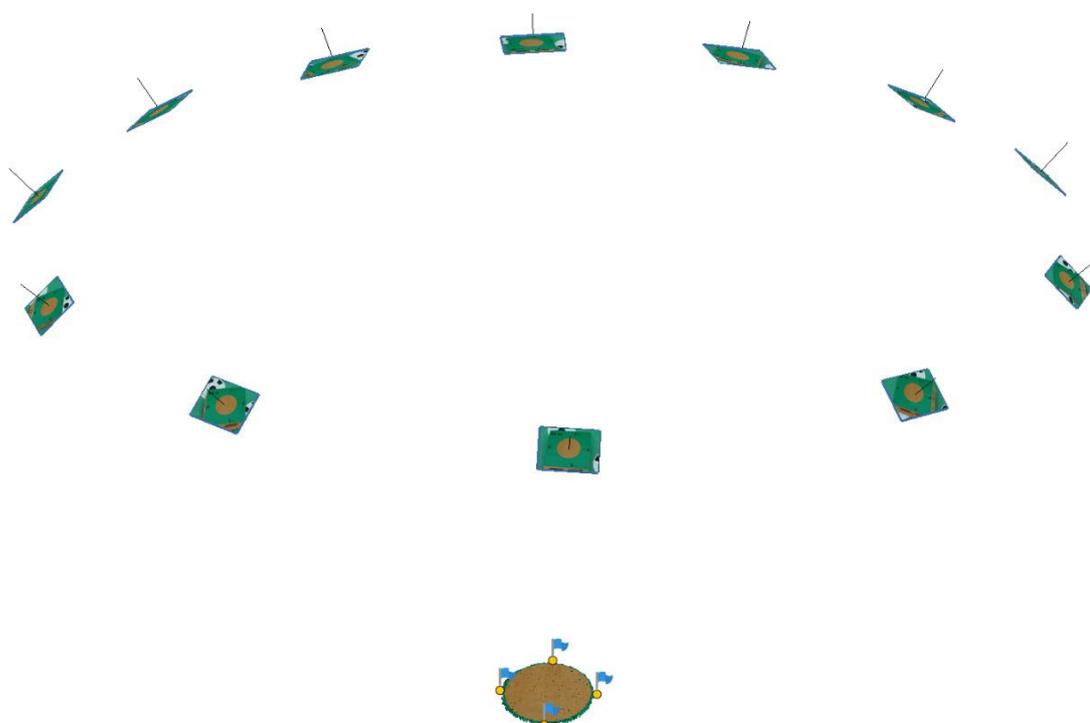
A câmera fotográfica empregada é uma Canon EOS Rebel T6i, com sensor CMOS (APS-C) de 24.2 *Megapixels* de resolução, fator de abertura do diafragma igual a F/22, tempo de exposição entre 1/4s e 1/5s (dependendo da variação de cor da amostra, foi necessário o ajuste da velocidade para manter homogeneidade de exposição das amostras), dimensões 6000x4000, lente Canon macro Lens EF-S 60mm 1:2:8 USM, com distância focal 60mm, ISO 100, que proporcionou fotos bem detalhadas, limpas e com aspecto natural. Após a aquisição das fotos, a segunda parte do processo fotogramétrico consistiu no processamento dos dados no *Software 3D Agisoft-Metashape*.

As amostras de blocos cerâmicos foram fotografadas em diferentes ângulos, para obter informações de toda superfície da amostra e possibilitar a reconstrução 3D com maior precisão. Assim, as amostras foram fotografadas em todo o seu perímetro (360°) a cada 30°, resultando em 12 fotografias por amostra. A câmera foi colocada a uma distância de aproximadamente 40 cm da amostra de bloco cerâmico e em um ângulo de aproximadamente 45°. As imagens adquiridas possuem 6000 *pixels* x 4000 *pixels* (largura x altura) de dimensões, uma vertical e uma horizontal resolução de 72 dpi, intensidade de 24 bits e representação de cores em RGB (Vermelho; Verde; Azul), e distância focal de 50 mm.

A amostra de bloco cerâmico fotografada foi importada separadamente, para alinhamento das fotos e otimização desse alinhamento. Isso é feito por meio de

algoritmos de visão computacional, que estimam a altitude e posição das câmeras no espaço virtual tridimensional, por meio de feições homólogas encontradas entre as fotografias, com alta sobreposição entre si (Figura 24). Também é realizado nessa etapa o processo de marcação de pontos de referência, para que os dados possuam valores dentro da escala de referência. Essa marcação foi feita diretamente no adesivo e depois identificada manualmente no *software* de reconstrução. Na Figura 24 é possível observar as marcas de referência, são os pontos amarelos com as bandeiras azuis na parte inferior da Figura 24.

Figura 24 - Marcação dos pontos de referência



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

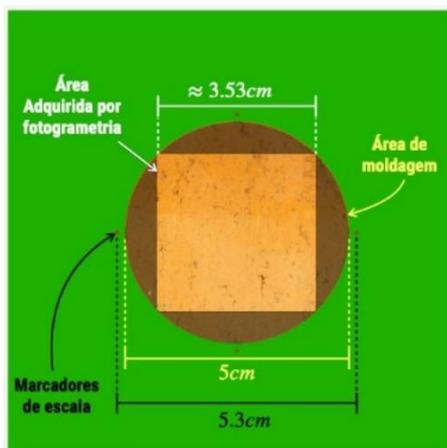
O resultado do processo é a geração da nuvem esparsa que corresponde aos pontos homólogos encontrados na etapa de alinhamento. A técnica utilizada nessa etapa é a "*Structure from Motion*" (FURUKAWA; HERNÁNDEZ, 2015).

Próxima etapa é a geração de nuvem de pontos densa, que é realizada através do algoritmo "*Multi-view Stereo*", MVS, (GOESELE *et al.*, 2007). Essas etapas são executadas por *software* fotogramétrico, como aquele utilizado nos experimentos deste trabalho, o *Agisoft—Metashap*.

Depois de que a nuvem de pontos é gerada, a próxima etapa do processo é a limpeza e recorte da amostra para utilização no método proposto por Tonietto (2021)

e Tonietto *et al.* (2022). Por questões de limitação do método, o processamento dos dados foi realizado em uma área quadrada de 35x35 mm dentro do círculo definido pela nuvem de pontos densa (Figura 25).

Figura 25 - Área de processamento de dados da fotogrametria



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A qualidade dos dados de rugosidade na amostra está relacionada à distância entre os pontos obtidos através do modelo. Quanto maior a densidade da nuvem de pontos, maior a precisão e detalhe das áreas de picos e vales. Após preparação dos dados, foi executado o método de computação de parâmetros de rugosidade, definido em Tonietto (2021) e Tonietto *et al.* (2022).

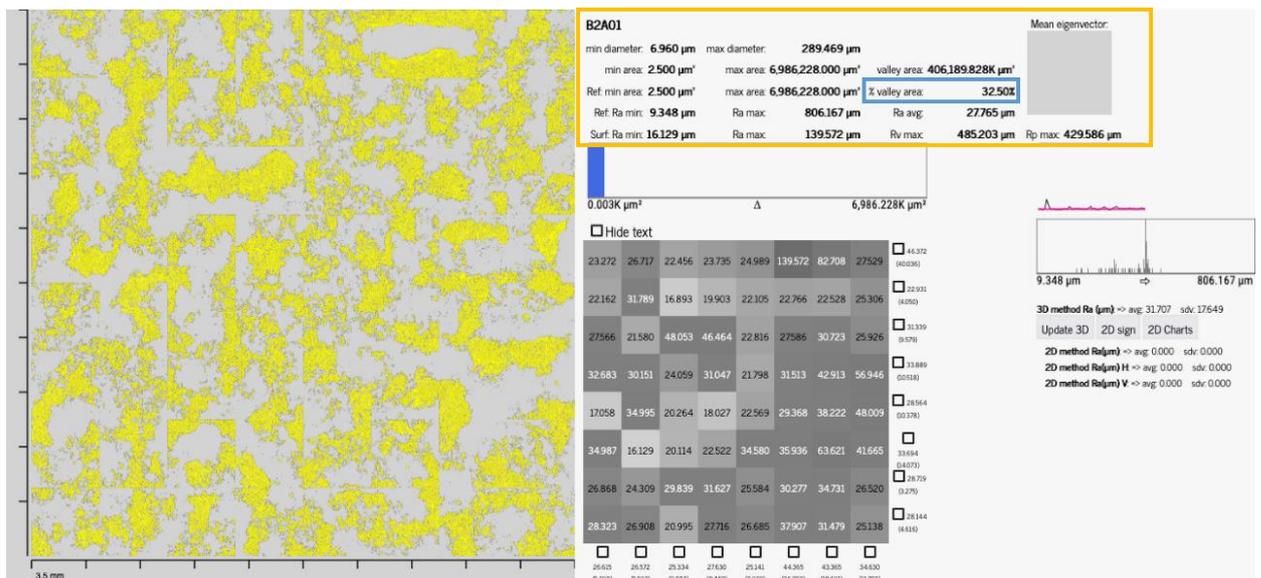
A fotogrametria gera um número de pontos variável e pode-se obter entre 3 e 6 milhões de pontos. O tempo de análise é de 10 minutos para fotografar as amostras, 10 minutos para reconstruir a imagem, 5 minutos para limpeza da nuvem, 3 minutos para a preparação dos dados, 5 minutos para os cálculos dos planos no *software Metashape* da *Agisoft* e mais 15 minutos para gerar os resultados dos parâmetros de rugosidade e imagens das áreas e mapa de alturas, totalizando assim, 48 minutos por amostra.

A amostra de bloco cerâmico fotografada foi importada separadamente para alinhamento das fotos e otimização deste, gerando a nuvem de pontos esparsa e a nuvem de pontos densa. A nuvem de pontos esparsa serve para identificar pontos comuns entre as fotos adquiridas e a de pontos densa tem maior detalhamento e precisão pontual. Posteriormente, o alinhamento da nuvem de pontos consistiu em identificar as informações de posição dos pontos.

A qualidade dos dados de rugosidade na amostra está relacionada à distância entre os pontos obtidos através do modelo. Quanto maior a densidade da nuvem de pontos, maior a precisão e detalhe das áreas de picos e vales.

Da mesma forma que na primeira etapa, foram obtidos os parâmetros de rugosidade a partir do *software* e imagens (Figura 26) desenvolvidos por Tonietto (2021).

Figura 26 - Parâmetros de rugosidade obtidos por meio da fotogrametria



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os blocos cerâmicos selecionados para a realização dos experimentos das fotogrametrias, apesar de planos, apresentavam imperfeições. Assim, buscou-se verificar a associação dos parâmetros de rugosidade com a aderência quando os resultados são obtidos em áreas maiores que, nesse caso foram de diâmetro de 50 mm e, dessa forma, apresentam uma maior variabilidade de picos e vales. Da mesma forma que na primeira etapa, inicialmente foram obtidos os parâmetros de rugosidade, no entanto o método utilizado foi da fotogrametria.

3.2.2 Caracterização dos blocos cerâmicos quanto à absorção de água e ângulos de contato

Foram propostos os ensaios de avaliação de transporte de água livre pelos blocos cerâmicos e caracterização de ângulos de contato.

O ensaio de absorvidade, que determina a absorção de água ao longo do tempo, foi realizado nos tempos de 1, 5, 10, 30, 120, 360 e 1440 minutos. Essa técnica baseia-se no princípio de ganho de massa em materiais cerâmicos não saturados, ao longo do tempo, por meio de sucção capilar (GUMMERSON; HALL; HOFF, 1980).

O procedimento de preparo dos substratos seguiu a sequência de primeiramente cortar as faces dos blocos, empregando uma serra de corte automática (modelo Clipper BW II, fabricante NORTON S.A.), com disco de 400 mm e rotação de 4000 R.P.M, por via úmida. Na sequência, os substratos foram lavados, de forma a retirar os resíduos provenientes do corte, e secos em estufa a 100° C por 24 horas e obtenção da constância de massa.

Para a realização do ensaio de absorção de água por capilaridade, os blocos foram protegidos com embalagens plásticas na parte inferior e a parte superior foi colocada em contato com uma lâmina de água de espessura 2 mm. Para cada olaria foram destinados 3 corpos de prova imersos por hidrofugantes por 30 segundos e 3 corpos de prova sem o devido tratamento. Os ensaios foram realizados no laboratório de Mecânica dos solos da Unisinos em sala climatizada, uma vez que as condições climáticas (temperatura e umidade relativa) podem afetar os resultados.

Muitas Normas Técnicas descrevem o método de absorção de água por capilaridade, tais como a DIN 52617 (1990), EN 480-5 (1996), EN 1925 (1999), RILEM TC 116-PCD (1999), EN 13057 (2000) e NBN B 14 201 (2013). Para a determinação do coeficiente de absorção de água, traça-se uma reta paralela à reta da curva de absorção ao longo do tempo e, deste modo, calcula-se tal parâmetro, que é dado pela inclinação da paralela. Conforme Al-Naddaf (2018), o coeficiente de absorção capilar é a massa de água absorvida por um corpo de prova por área de face e raiz quadrada de tempo.

Assim como Honório e Carasek (2010), esse estudo desenvolveu gráficos para o cálculo dos coeficientes angulares das retas ajustadas aos pontos da leitura do ensaio de absorvidade. Esse experimento buscou caracterizar a absorção nos momentos em que ela é mais intensa, ou seja, nos primeiros 30 min após a aplicação da pasta, bem como verificar os momentos em que as camadas superficiais do substrato ficam próximas da saturação, resultando numa absorção mais lenta. Tal metodologia seguiu os estudos de Honório e Carasek (2010) e Taha,

El-Dieb, Shivre (2001), nos quais a absorção de água é avaliada em momentos iniciais e selecionando duas fases.

A primeira fase exhibe os momentos de maior absorção de água, em que a reta é crescente e, na segunda fase, a reta tende à representação de absorção de água constante, configurando a saturação do substrato. A tabela 7 mostra os resultados dos experimentos de caracterização dos substratos Ch e Sh. Os cálculos das taxas de absorção de água encontram-se no Apêndice A.

Tabela 7 - Taxas de absorção capilar

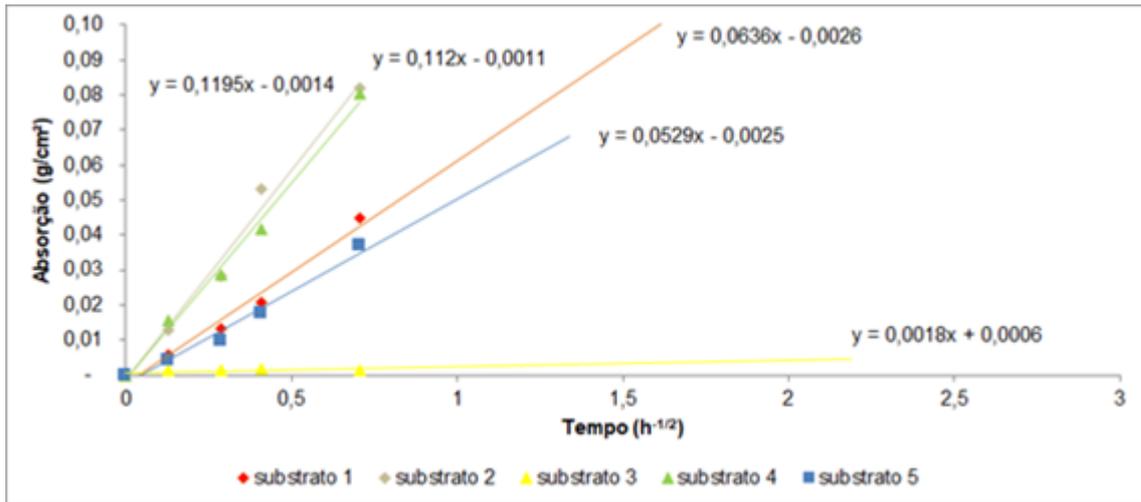
Substrato	Taxa de absorção capilar – Ch	Taxa de absorção capilar– Sh	Diferença percentual (%)
	(g/cm ² h ^{-1/2})	(g/cm ² h ^{-1/2})	
1	0,06	0,61	90%
2	0,12	0,55	78%
3	0,00	0,49	100%
4	0,11	0,53	79%
5	0,05	0,31	83%

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

O hidrofugante colaborou para redução da taxa de absorção capilar, medida aos 30 minutos, de forma significativa. Para os substratos 1 a redução foi de 90%; substratos 2, 78%; substratos 3, 100%; substratos 4, 79% e substratos 5, 83%.

Observou-se no caso dos blocos Ch (Figura 27) que os substratos 2 e 4 apresentaram as maiores taxas de absorção de água, seguidos dos substratos 1 e 5. Já nos substratos 3, a absorção de água foi próxima de zero.

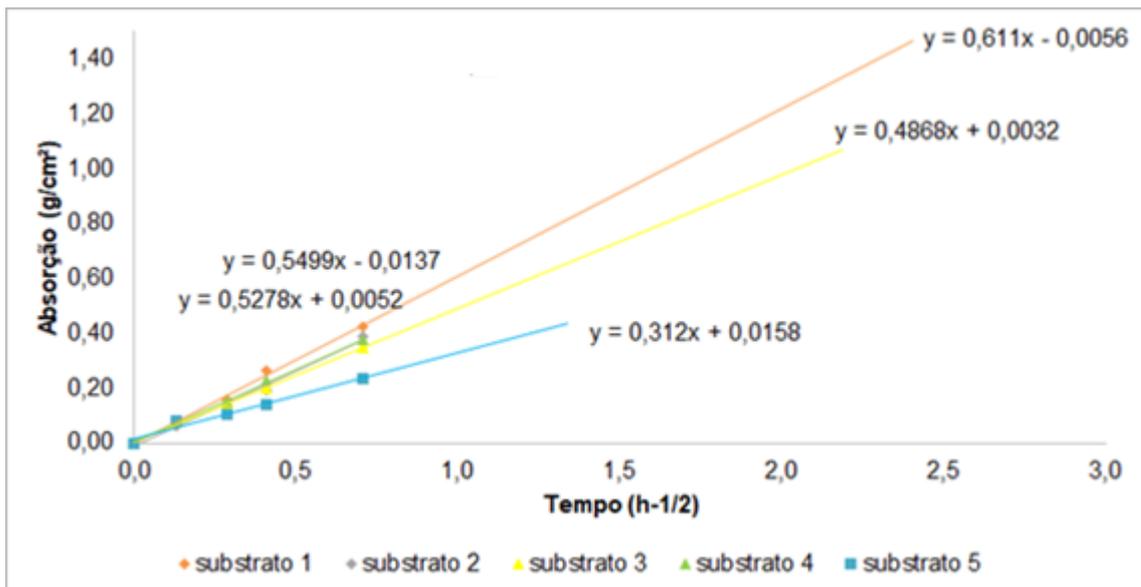
Figura 27 - Taxa de absorção capilar – Ch



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os substratos Sh (Figura 28), como esperado, apresentam uma taxa de absorção capilar muito superior quando comparados aos substratos Ch, pois o hidrofugante tende a eliminar a absorção capilar do bloco cerâmico (COSTA, 2014).

Figura 28 - Taxa de absorção capilar - Sh

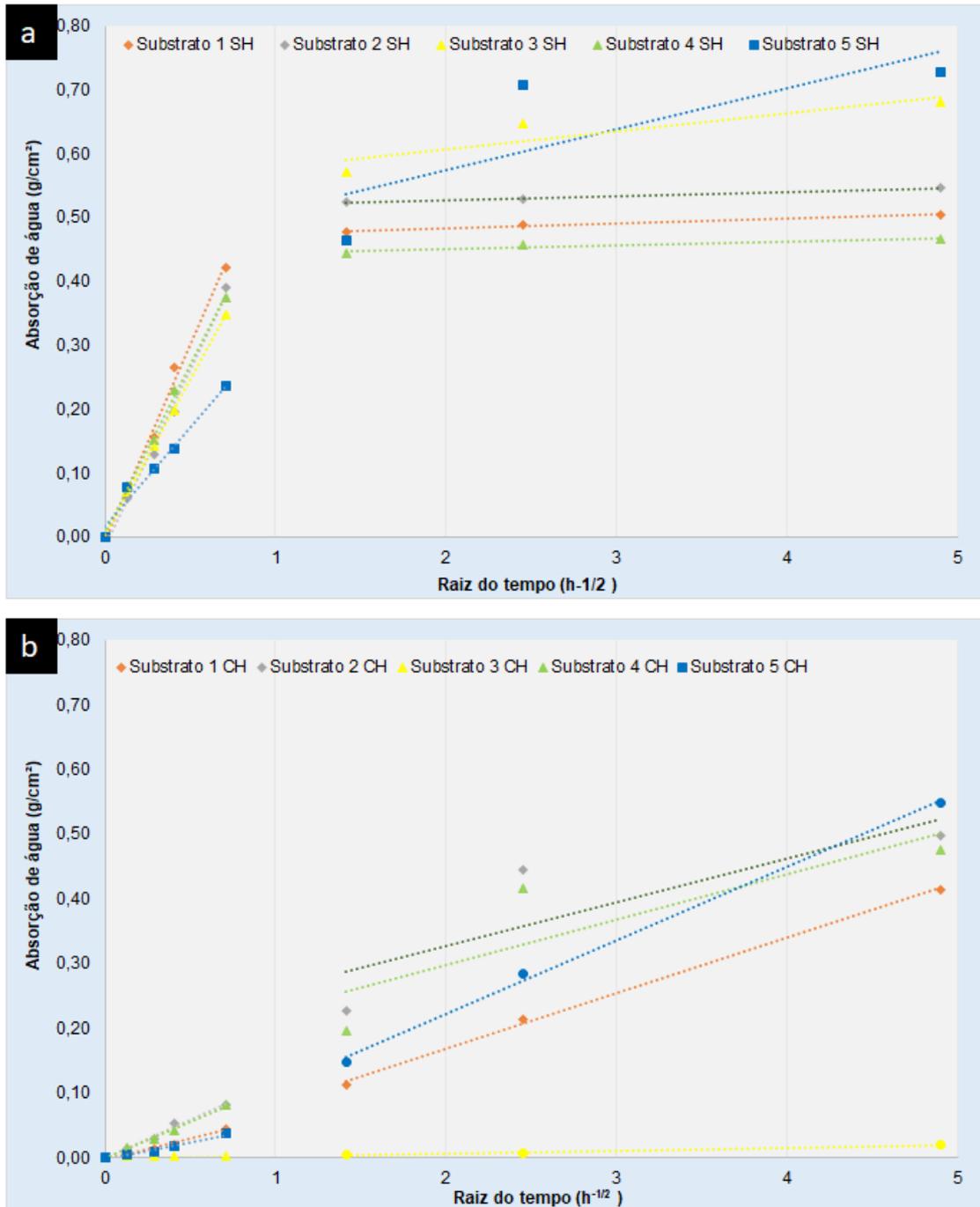


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Quanto à taxa de absorção de água após 30 minutos, a fase I mostra-se crescente tanto na situação de tratamento superficial, quanto na condição Sh. Todavia, na fase II, o comportamento de saturação ocorre somente para os blocos cerâmicos Sh (Figura 29a), assim colaborando com a hipótese que o hidrofugante

auxilia na menor sucção de água e promove uma interface mais rica em pasta no caso dos substratos Ch (Figura 29 b).

Figura 29 - Taxa de absorção capilar: a) Sh; b) Ch



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Também foi analisada a taxa de absorção capilar inicial no tempo de um minuto. Os percentuais de sucção de água inicial (Tabela 8) pelos substratos Sh foram superiores aos Ch, correspondendo a 92% para os substratos 1; 78%

substratos 2; 98% substratos 3; 80% substratos 4 e 95% substratos 5. A maior taxa de absorção capilar inicial, em substratos Sh, foi aferida para os substratos 4, seguidos pelos substratos 5, 3, 1 e 2.

Tabela 8 - Taxa de absorção capilar inicial

Substrato	Taxa de absorção capilar inicial – Ch	Taxa de absorção capilar inicial – Sh	Diferença percentual
	(g/cm ² h ^{-1/2})	(g/cm ² h ^{-1/2})	(%)
1	0,04	0,50	92%
2	0,10	0,46	78%
3	0,01	0,56	98%
4	0,12	0,61	80%
5	0,03	0,60	95%

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Esse método é apontado por apresentar limitações, pois não demonstra de forma clara a interação entre o substrato poroso e a pasta de cimento (ERHART, 2014; LANGE; DEFORD; ALMED, 1996), uma vez que o fluido utilizado é água e a pasta possui determinada retenção de água. Além disso, a maior quantidade de água absorvida nos minutos iniciais do ensaio pode não representar o comportamento absorvente da umidade da argamassa fresca pelo substrato.

No entanto, Paes (2004), Honório e Carasek, (2010), Pagnussat (2013) e Valentini (2018) demonstraram em seus estudos que a absorção de água apresenta um bom indicativo nos estudos de aderência. Quanto à avaliação das porosidades equivalentes dos substratos Ch, observou-se que o hidrofugante apresenta diferentes desempenhos, dependendo das porosidades dos substratos (Tabela 9).

Tabela 9 - Porosidades e percentual aparente de preenchimento dos poros

Substrato	Porosidade média equivalente – Ch	Porosidade média total – Sh	Percentual aparente de preenchimento dos poros pelo hidrofugante
	(%)	(%)	(%)
1	28,93	33,23	13%
2	44,41	47,25	6%
3	1,99	64,74	97%
4	42,19	45,18	7%
5	56,18	69,80	20%

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Averiguou-se, a partir dos valores das porosidades médias dos substratos Sh, um percentual aparente de preenchimento de poros (Ch) maior para os substratos 3 - que foi de 97%, seguidos pelos substratos 5, 20%; substratos 1, 13% e os menores percentuais para os substratos 2, 6% e substratos 4, 7%.

A partir dos resultados das porosidades médias dos substratos é possível verificar diferentes comportamentos quando se utiliza hidrofugantes, dado que os substratos 3 demonstram um melhor desempenho quanto à redução da taxa de absorção inicial, quando comparados, por exemplo, aos substratos 5, que apresentam uma porosidade percentual maior e a redução da absorção de água menor.

Embora os blocos cerâmicos sejam materiais amplamente utilizados como substratos, há grande escassez de informações sobre suas características de superfície. Ressalta-se que a quantidade de água transportada não tem relação direta com os poros totais e, conseqüentemente, com a absorção total de água do substrato, uma vez que o fluxo de água dependerá mais do tamanho dos poros e de sua interconexão (PAES *et al.*, 2014).

Nesse sentido, Kazmierczak, Brezezinski e Collatto (2007) compararam a distribuição de poros em substratos de concreto e cerâmicos, verificando diferenças significativas nessa propriedade entre os materiais, sendo que no trabalho referido pelos autores, os blocos de concreto apresentaram maior quantidade de poros maiores (30 a 200 μm), enquanto os substratos de cerâmica vermelha tiveram maior quantidade de poros menores (0,01 a 30 μm).

O processo de sinterização influencia fortemente nas propriedades mecânicas da cerâmica e em suas propriedades de superfície, como a rugosidade, porosidade e a absorção de água (PAES, 2004; PAGNASUT, 2013). Isso ocorre devido ao efeito da temperatura de sinterização em peças cerâmicas, que se deve, fundamentalmente, ao fechamento da porosidade aberta no interior da cerâmica vermelha, em virtude da desidroxilação da caulinita (formação da metacaulinita amorfa) e posterior transformação para fases cerâmicas de alta temperatura (formação da mullita) (KIEFER, *et al.*, 2020; PINHEIRO; HOLANDA, 2010).

Acima de 950°C, a porosidade aberta pode se fechar de forma mais significativa, graças à presença de uma pequena quantidade de finos filamentos de vidro. A diminuição da porosidade é acompanhada por uma diminuição volumétrica

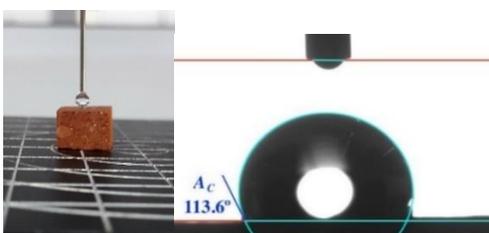
da peça, que irá alterar as características de rugosidade da superfície (KRAKOWIAK; LOURENÇO; ULM, 2011).

Outro ponto relevante quando se trata dos estudos que envolvem a aderência é a obtenção de uma área de contato efetiva entre o substrato e a argamassa de revestimento, pois é necessário que ocorra uniformidade de contato, a qual é obtida através de uma boa molhagem pela argamassa (GONÇALVES, 2004; PAGNASSUT, 2013).

Nesse contexto, Costa (2014) e Mansur (2007) analisaram sistemas compostos por substratos cerâmicos e modificadores de superfície do substrato, introduzidas por organossilanos. As autoras constataram que este tipo de tratamento promoveu a melhoria da aderência na interface, pela possibilidade de interações hidrofóbicas e covalentes, somando-se às interações já existentes de Van der Waals e ligações de hidrogênio.

Esse estudo analisou a molhabilidade dos substratos por meio da captura da imagem da gota depositada na face do substrato, com equipamento da marca DataPhysics, modelo OCA 15 EC. No caso dessa caracterização, os substratos foram ensaiados em corpos de prova de 10x10 mm (Figura 30), assim selecionadas 2 amostras por tipo de substratos Ch e 5 por amostras Sh. Os dados dos experimentos foram inseridos no Apêndice B.

Figura 30 - Ensaio de ângulo de contato e aferição de ângulo



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os resultados de ângulo de contato foram coerentes com Costa, Cardoso e John (2016), pois os autores evidenciaram que o tratamento com silano reduziu em 91% a capacidade de absorção capilar do bloco cerâmico após 60 min do contato com água. Os resultados dos autores mostraram ângulos de contato de 35,40° e de 100,10° para a superfície Sh e Ch, respectivamente. Nesse estudo, os resultados dos ensaios das amostras Ch apresentaram ângulos compreendidos entre 101° e 126° e para as amostras Sh entre 24 e 35°.

Dependendo da direção de aferição dessa propriedade, a formação de valores dos ângulos pode apresentar resultados completamente diferentes. Tal abordagem foi discutida por Kubiak e Mathia (2014). Os autores explicam que os experimentos são avaliados numa direção isotrópica, ou seja, os valores são mostrados em 2D e dessa forma não se avalia a molhabilidade na topografia tridimensional, isto é, a morfologia considerada é unidirecional. Dessa forma, não há evidências de associação de resultados de ângulos de contato à aderência entre a matriz cimentícia e substratos cerâmicos.

3.2.3 Produção e caracterização das pastas de cimento Portland no estado fresco

As pastas de cimento foram produzidas na sala climatizada no Laboratório de Materiais de Construção (LMC), na Unisinos. A sala tem temperatura controlada de $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $60\% \pm 10\%$. A mistura das pastas foi realizada em equipamento adaptado de uma Furadeira de Impacto VONDER-FIV710, velocidade Rotação - velocidade de 0 - 2.800 R.P.M, um conjunto de haste e hélice tipo “Cowles” de 40 mm de diâmetro e copo Becker plástico.

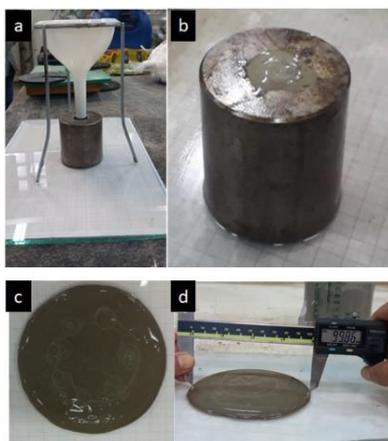
A mistura foi realizada na velocidade de 2800 R.P.M, que equivale à velocidade mais alta do equipamento. O uso das ferramentas e a velocidade de mistura tiveram como objetivo promover uma maior desaglomeração das partículas e fluidez das pastas. Conforme Barbosa, John e Pileggi (2009), o uso de elevada energia de mistura promove maior dispersão das partículas e ocasiona uma retenção de água na pasta por maior período de tempo, além de menor retração plástica.

A mistura foi realizada adotando as seguintes etapas: I) homogeneização dos materiais secos em Becker de plástico utilizando haste de vidro; II) adição de água aos materiais secos e mistura mecânica durante 60 segundos; III) acréscimo de aditivo e repouso por 30 segundos; e IV) homogeneização mecânica da pasta e aditivo durante 30 segundos.

O método utilizado para determinar a consistência foi o *mini slump test* ou mini abatimento de tronco de cone, desenvolvido por Kantro (1980). Após a mistura, as pastas de cimento Portland foram adicionadas ao minicone de Kantro, produzido de material metálico, com 6 cm de altura, base inferior de 4 cm de diâmetro e base

superior de 2 cm de diâmetro (Figura 31 b). Aplicaram-se cinco golpes com bastão de vidro para melhorar o adensamento da pasta e evitar a formação de bolhas no interior, e o excesso da parte superior retirado.

Figura 31 - Sequência de realização do ensaio de espalhamento empregando o mini cone de Kantro



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Em seguida, o cone foi levantado rapidamente e o espalhamento (Figura 31 c) medido em três diferentes pontos da pasta espalhada. O ensaio foi realizado sobre uma placa de vidro assentada sobre papel milimetrado, no qual foram medidos o diâmetro horizontal, o diâmetro vertical e uma diagonal da pasta de cimento, e posteriormente foi calculado o diâmetro médio.

As pastas empregadas foram elaboradas com cimento CP V – ARI, relação água/ligante 0,45 e um teor do aditivo superplastificante de 0,04% sobre a massa de cimento. O espalhamento foi fixado em 100 ± 5 mm, por meio de teste de Kantro. As características das pastas de cimento Portland utilizadas na segunda e terceira etapa estão listadas na Tabela 10. As pastas de cimento foram caracterizadas quanto à densidade de massa e ao teor de ar incorporado, conforme a NBR 13278 (ABNT, 2005), e quanto à retenção de água, de acordo com a NBR 13277 (ABNT, 2005).

Tabela 10 - Dosagem e caracterização das pastas de cimento Portland

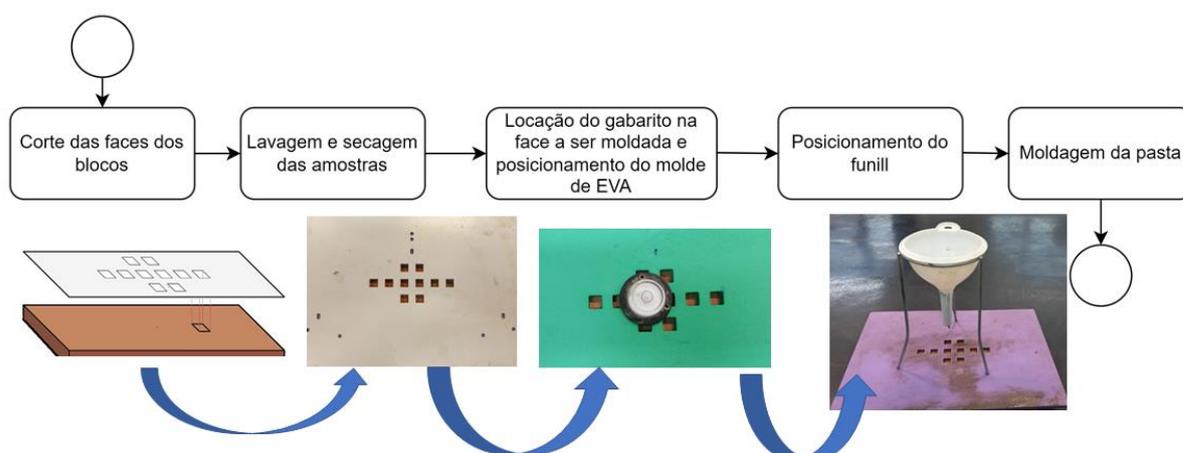
Relação água/ligante	0,45
Teor de aditivo (%)	0,04
Retenção de água (%)	73
Teor de ar incorporado (%)	6
Resistência à tração por compressão diametral (MPa)	4,31
Desvio-padrão	1,17

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

3.2.4 Moldagem das pastas em substratos cerâmicos e cura dos corpos de prova

Em todas as etapas, quando da aplicação da pasta sobre o substrato, utilizou-se um suporte com funil à distância de 8 cm do substrato, garantindo assim, que todas as amostras de pastas fossem aplicadas com mesma energia de lançamento (Figura 32), adaptada a partir dos estudos de Barbosa, John e Pileggi (2009). Na segunda etapa, as pastas foram moldadas em moldes de EVA impregnados por desmoldante base óleo, com corpos de provas compostos por 10 amostras quadradas 10x10 mm na espessura de 5 mm (Figura 32).

Figura 32 - Fluxograma de moldagens das pastas – segunda etapa



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Cada ponto de moldagem foi adensado com 5 golpes e após 15 minutos o conjunto de moldagem foi rasado e recebeu uma placa de vidro de dimensões 7x12 cm e peso padrão de 1 kg, para melhor distribuir a carga de confinamento da pasta.

Na sequência, essas amostras foram acondicionadas em sala de cura com umidade relativa de 100%.

Após 24h, as amostras foram desmoldadas, identificadas e armazenadas em sacos plásticos em sala de cura, e acondicionadas no ambiente de cura, com umidade relativa de 100%, até a data de 27 dias anterior ao ensaio de aderência. É importante destacar que as amostras foram colocadas nas temperaturas de cura logo após a moldagem.

No que se refere ao método de moldagem, foram testadas algumas formas diferentes na etapa-piloto e durante o programa experimental observou-se a grande dificuldade de aplicar moldes que não interfiram no processo inteiro, ou seja, que facilite a moldagem, que não cause retração, devido às restrições geradas pelo material do molde e que não absorva água da pasta. Todos apresentaram vantagens e desvantagens, porém o melhor, do ponto de vista da pesquisadora, foi empregar moldes de EVA e aplicar desmoldante base óleo e espessura de 5 mm. Moldes de acrílico e PVC foram empregados na etapa-piloto e esses causavam maior retração nas pastas. Empregando acrílico e EVA, as pastas se espalhavam entre os dois moldes.

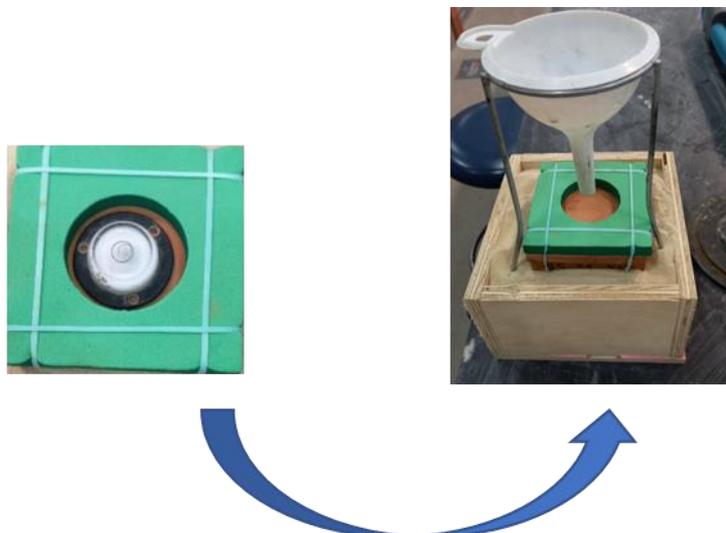
Outro desafio durante as moldagens foi garantir uma carga uniforme em todos os locais de aplicação das pastas, pois quanto mais distante os pontos, mais diferença de carga ocorre entre estes e há a necessidade de moldagens individuais. Quanto à localização dos pontos a serem moldados e número de amostras por face de blocos, ressalta-se nesse sentido que os substratos utilizados apresentam diferentes dimensões de faces e isso não possibilita a execução de uma maior quantidade de amostragem de forma a não interferir nos testes.

Na segunda etapa ocorreu a tentativa de realizar ensaios reológicos, empregando o *Squeeze flow* nos diferentes substratos. Contudo, as pastas são fluídas, de forma a atender o espalhamento de $100 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, o que dificultou a realização do experimento. Ainda assim, resolveu-se trabalhar com uma relação água/ligante de 0,40, porém a largura dos substratos mostrou-se incompatível com os diferentes espalhamentos das pastas nestes.

A terceira etapa empregou amostras circulares, mas essas seguiram os mesmos procedimentos de dosagem, mistura e moldagem de pasta estabelecidos na segunda etapa. As amostras foram moldadas no formato circular de 50 mm na

espessura de 10 mm (Figura 33), adensadas com 20 golpes. As condições de cura em ambiente de câmara úmida foram mantidas.

Figura 33 - Fluxograma de moldagens das pastas – terceira etapa



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

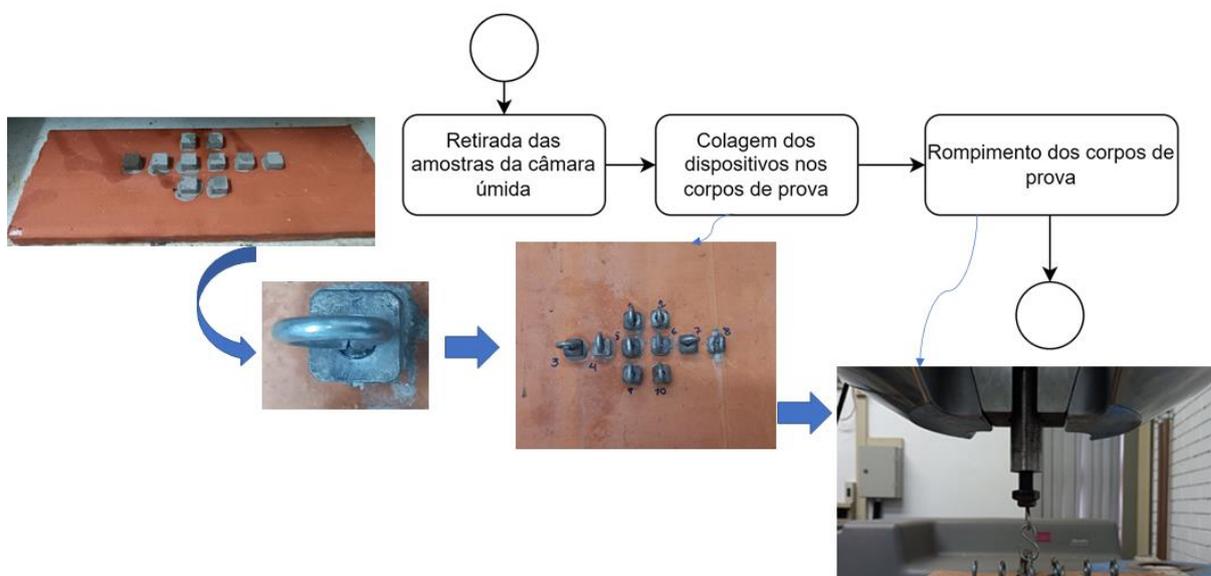
Cada substrato foi seccionado nas dimensões 95x100 mm e recebeu um molde de EVA com furo central de 50 mm para posterior aplicação das pastas. Na sequência, estas receberam uma carga de 1 kg de massa padrão por 24 horas. De forma a garantir uma carga melhor distribuída e confinar a pasta aplicada, foi inserida abaixo da massa padrão uma placa de vidro de espessura 8 mm e dimensões 70x70 mm, mantida por 24 horas.

3.2.5 Ensaio de resistência de aderência à tração de pastas aplicadas em substratos de blocos cerâmicos

Neste trabalho foi desenvolvido, para as etapas-piloto e segunda etapa, um dispositivo a ser colado às amostras 10x10 mm, composto por conjunto de placa chata 10 x 10 x 3 mm soldada a um olhal. Na prensa, o dispositivo foi composto de parafuso roscável de 8 mm soldado a um olhal, preso à garra da prensa. No momento de realização dos ensaios de RAT, os dispositivos inferior e superior foram interligados por meio de um gancho “S” e controlados de forma a manter a ortogonalidade entre o olhal inferior e superior, sem causar o arrancamento prévio das amostras, ou erros geométricos. A célula de carga utilizada na prensa foi de 25 kN. O método foi denominado de microtração, pois foi adaptado de Sano *et al.*

(1994). O fluxograma do processo de preparo das amostras está exibido na Figura 34.

Figura 34 - Fluxograma de preparo das amostras para o ensaio de resistência de aderência à tração – segunda etapa



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os ensaios de RAT foram realizados aos 28 dias. A definição das dimensões das amostras de 10x10 mm, ocorreram em função da limitação do equipamento de perfilometria a laser que possibilita a leitura de até 10000 pontos.

Dessa forma, as definições dos locais de moldagens ocorreram a partir do perfil de rugosidade dos blocos cerâmicos caracterizados, obtidos em parceria com Arnold *et al.*, (2021), Tonietto (2021), Arnold (2021) e Tonietto *et al.* (2022).

Após o período de cura de 27 dias, cada amostra recebeu a colagem do dispositivo, conjunto chapa metálica e olhal, por meio de massa plástica misturada com catalisador. No 28º dia realizou-se o ensaio de RAT dos corpos-de-prova.

Na terceira etapa, as amostras foram mantidas em sala de cura por 27 dias e, posteriormente coladas as pastilhas metálicas, de diâmetro circular de 50mm, com massa plástica misturada ao catalisador e após 24 horas, ensaiadas. O ensaio de RAT foi realizado empregando o aparelho portátil para Ensaio de Arrancamento Dinateste modelo E102P-5kN, com Indicador Digital e distância entre os pés de apoio 85 mm. Para o cálculo da RAT foram medidos o diâmetro horizontal, o diâmetro vertical e uma diagonal da pasta de cimento, e posteriormente foi calculado

o diâmetro médio necessário para o cálculo da área (mm²) e essa foi utilizada dividindo-se a carga resultante do indicador digital do equipamento pela área circular resultante.

3.2.6 Análises estatísticas

Para a realização de experimentos significativos e confiáveis, deve-se usar o tratamento de dados experimentais e análise de resultados, assim é imprescindível o uso de métodos estatísticos como ferramenta na validação desses dados (NORMANDO; TJÄDERHANE; QUINTÃO, 2010).

Para a realização das análises estatísticas foram definidos os fatores de respostas de interesse à pesquisa, para que sejam alcançados os objetivos propostos:

- a) quantificar, classificar e analisar a variação de rugosidades entre distintos substratos por meio dos parâmetros de rugosidade de blocos cerâmicos (primeira e terceira etapas);
- b) analisar a variação de aderências entre distintos substratos (segunda e terceira etapas);
- c) verificar a influência dos parâmetros de rugosidade na aderência (segunda e terceira etapas);
- d) analisar as variações de aderência entre as amostras tratadas com hidrofugantes (Ch) e as não tratadas (Sh) (segunda e terceira etapas);
- e) comparar as variações entre os métodos e diferentes dimensões das áreas de interfaces de pastas de cimento Portland e substratos cerâmicos (segunda e terceira etapas).

Os fatores de controle considerados foram os substratos cerâmicos, diferentes métodos e distintas dimensões das áreas de interfaces utilizados para determinação dos parâmetros de rugosidade e RAT. As variáveis fixas foram os equipamentos utilizados para cada medição, substratos de origem cerâmica e única pasta de cimento CP V - ARI.

A priori, os dados foram padronizados numa distribuição normal, pois muitos testes estatísticos requerem essa padronização. Além disso, foram desenvolvidos

gráficos de dispersão e Biplot provenientes da análise estatística PCA, visto que há o interesse em avaliar o comportamento do conjunto de duas ou mais variáveis quantitativas. Uma análise gráfica preliminar permite ter uma noção do tipo de relação existente entre as variáveis, além de proporcionar indícios sobre a variabilidade dos dados e sobre pontos atípicos ou discrepantes (ARNOLD, 2021).

As técnicas estatísticas utilizadas nesse estudo foram a descrição estatística (médias, variâncias, desvios-padrão, coeficientes de variação, mínimos e máximos), Teste Z, Regressão linear múltipla, Análise de dispersão por quadrantes e *Principal Component Analysis* (PCA).

Os coeficientes de variação são utilizados para medir a instabilidade das variáveis, além de permitir comparações entre variáveis de naturezas distintas e fornece uma ideia de precisão dos dados (PIMENTEL-GOMES, 1985).

É relevante estabelecer níveis de classificação de coeficientes de variação para as principais variáveis respostas com relação à precisão dos dados de sua pesquisa. Dessa forma, torna-se necessária, portanto, uma classificação dos coeficientes de variação, voltados para os parâmetros de rugosidade de blocos cerâmicos e da influência desses sobre a aderência e que tenham em consideração não só a variável a ser estudada, mas também o tipo de experimentação aos quais os dados se referem. Logo, dada a influência de múltiplos fatores na aderência, sugeriu-se a classificação de coeficiente de variação seguindo o estudo de Arnold (2021): Baixos (CV inferiores a 25%); Médios (CV entre 25 e 50%); Altos (CV entre 50 e 75%) e Muito Altos (para valores acima de 75%).

A definição das análises estatísticas mostrou-se relevante nesse estudo, pois os coeficientes de variação de aderência entre argamassas e substratos de cerâmica vermelha são altos (VAZ; CARASEK, 2019), em virtude dos múltiplos fatores que influenciam essa propriedade (CARASEK, 1996).

O Teste Z teve como objetivo comparar a média de uma população normalmente distribuída com variância conhecida. No caso desse estudo, foi empregado para comparar se as médias de Ra, Rvm, Amv e RAT são iguais ou diferentes a um nível de significância de 5%.

As análises quantitativas utilizadas em regressões lineares múltiplas admitem mais variáveis independentes que contribuem para a explicação da variável dependente (SATAPATHY *et al.*, 2009; SILVA; FLORES-COLEN; GASPAR, 2013) assim, quando aplicada, pretende-se avaliar a influência de diferentes parâmetros

em determinada propriedade, dessa forma o modelo envolve mais de um coeficiente de regressão. No caso desse estudo, utilizou-se a regressão linear múltipla na análise da influência dos parâmetros de rugosidade na aderência. Dessa forma, buscou-se a equação que melhor estimasse a RAT sob a influência dos parâmetros de rugosidade.

A análise de dispersão por quadrantes foi aplicada de forma a verificar os dados espalhados, mas com uma tendência leve de direção. No diagrama de dispersão, as retas paralelas aos eixos e que se interceptam no centro de gravidade dividem o plano em quatro quadrantes: I, II, III, IV. Se houver uma maior concentração de pontos nos quadrantes I e III, a correlação é positiva. Se houver uma maior concentração de pontos nos quadrantes II e IV, a correlação é negativa. Nos casos em que não há uma maior predominância nos quadrantes I e III, ou nos quadrantes II e IV, diz-se que não há correlação ou que a correlação é nula.

A *Principal Component Analysis* (PCA) possibilita reduzir a dimensionalidade de um grupo de variáveis correlacionadas em um conjunto de combinações lineares mutuamente ortogonais das variáveis de menor dimensão, mas simultaneamente tentando explicar a maior parte da variância do conjunto de dados (LIU *et al.*, 2021). Usando esta técnica, é possível realçar as semelhanças e diferenças de dados de um conjunto de variáveis através da identificação de padrões, uma vez que os dados analisados são de difícil representação gráfica e alta dispersão. Quando identificados os padrões no conjunto, o número de dados a analisar pode ser reduzido sem que haja uma perda significativa de informação, pois o foco recai sobre a análise dos dados principais que caracterizam o conjunto de dados (HAMEED *et al.*, 2021).

Boukhatem *et al.* (2012) explicam que na PCA, a ferramenta computacional utiliza a técnica estatística das multivariadas para gerar o gráfico que representa a formulação da aproximação das variáveis cujas características são próximas e têm relevância nos resultados das amostras analisadas. Além disso, essa técnica permite calcular os Vetores Próprios e os Valores Próprios a partir da matriz de covariância, em que esses representam as características principais de uma matriz (LIU *et al.*, 2021). Os autovetores e os gráficos biplot foram gerados por meio do *software Origin 2022*.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises de resultados estão apresentadas conforme os objetivos específicos descritos na introdução desse estudo e divididas em três etapas.

A classificação de coeficientes de variação para os blocos cerâmicos considerada para as análises de resultados está descrita a seguir:

- a) baixo – coeficiente de variação inferior a 25%;
- b) médio – coeficiente de variação entre 25% e 50%;
- c) altos - coeficiente de variação entre 50% e 75%;
- d) muito altos - coeficiente de variação acima de 75%.

4.1 PRIMEIRA ETAPA

Os objetivos específicos dessa etapa foram de quantificar e classificar rugosidades de blocos cerâmicos, contudo não havia estudos que definissem os parâmetros de rugosidade para materiais de cerâmica vermelha, então foi importante a parceria de trabalhos desenvolvidos por Tonietto (2021) e Arnold (2021), com a finalidade de propor uma classificação e elementos da rugosidade que auxiliassem no entendimento da aderência de revestimentos de argamassas.

Dessa forma, foram realizadas análises estatísticas da influência dos parâmetros de rugosidade caracterizados com um perfilômetro 3D com captura de dados por LiDAR (*Light Detection And Ranging*). Esse método gerou dados quantitativos de rugosidades:

- a) Ra - rugosidades médias entre picos e vales;
- b) Rvm - alturas médias de vales;
- c) Amv - áreas médias de vales.

4.1.1 Parâmetros de rugosidade dos substratos cerâmicos

O Apêndice H apresenta a totalidade de valores dos parâmetros de rugosidade para cada olaria. A tabela 11 exhibe os dados estatísticos de Ra médios, por substrato cerâmico.

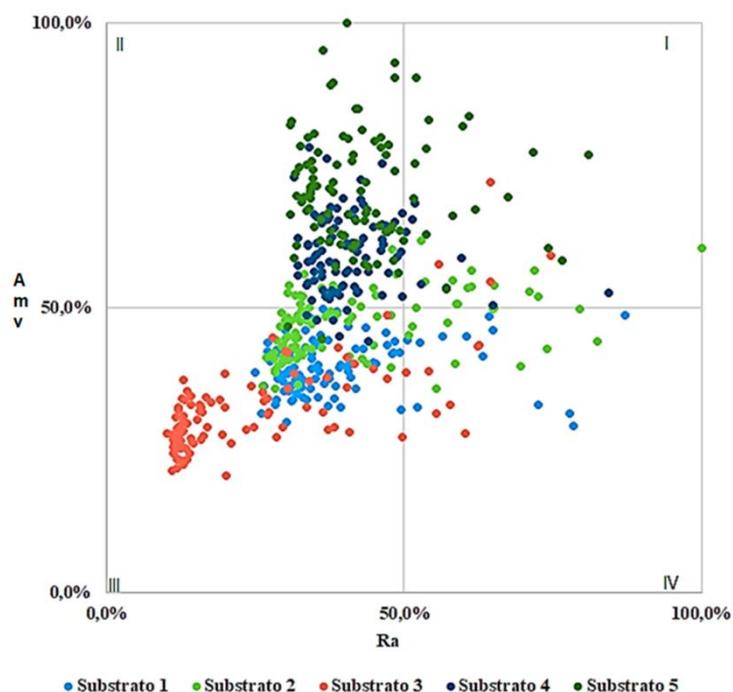
Tabela 11 - Análises estatísticas de Ra

Dados	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Média	2,07	2,36	1,25	2,23	2,27
DV	0,58	0,73	0,78	0,50	0,67
CV	28%	31%	63%	22%	30%

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

O substrato 3 apresentou altos coeficientes de variação (63%); os substratos 1, 2 e 5 - 28%, 31% e 30% respectivamente, assim classificados de médios coeficientes de variação. Já os substratos 4 apresentam baixos coeficientes de variação de 22%. A partir dos dados de Ra, verificou-se que os substratos analisados não apresentaram uma rugosidade média uniforme em toda sua extensão, concordando com Arnold (2021), Sassoni *et al.* (2017), Ek *et al.* (2016) e Pour (2016), o que pode comprometer a extensão de aderência dos revestimentos de argamassas.

As análises de dispersão do Ra *versus* Amv (Figura 35) indicaram que os substratos 4 e 5 estão localizados nos quadrantes II e os demais substratos principalmente no quadrante III, apresentando correlação entre os dados nula e as variáveis independentes, ou seja, para estes substratos o Ra não é dependente das áreas médias de vales.

Figura 35 - Dispersão Ra *versus* Amv

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os dados estatísticos médios resultantes dos substratos analisados nesse estudo constam na Tabela 12 para as amostras Ch e a Tabela 13 exibe para as amostras Sh. Os dados de todas as amostras constam no Apêndice H.

Tabela 12 - Dados estatísticos dos parâmetros Rvm - Ch

Dados estatísticos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Médias	2,32	2,56	1,46	2,33	2,55
Erro padrão	0,08	0,10	0,10	0,08	0,08
Desvio-padrão	0,66	0,82	0,83	0,65	0,71
CV	28%	32%	57%	28%	28%
Variância	0,44	0,67	0,68	0,42	0,50
Mínimo	1,56	1,72	0,74	1,84	1,66
Máximo	5,25	5,24	3,72	6,81	4,92

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Tabela 13 - Dados estatísticos dos parâmetros Rvm - Sh

Dados estatísticos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Médias	2,29	2,66	1,44	2,50	2,56
Erro padrão	0,07	0,22	0,15	0,14	0,19
Desvio-padrão	0,28	0,97	0,67	0,64	0,79
CV	12%	36%	47%	26%	31%
Variância	0,08	0,94	0,45	0,40	0,62
Mínimo	2,07	1,82	0,68	1,81	1,51
Máximo	2,96	5,31	2,97	4,30	4,07

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No caso dos substratos Ch, as amostras 1, 2, 4 e 5 apresentaram médios coeficientes de variação, já o substrato 3 apresentou alto coeficiente de variação, porém a indicação de menor média de Rvm. A hipótese inicial desse estudo é que quanto maior for o resultado desse parâmetro, melhor área de contato substrato/pasta, no entanto há de verificar se as áreas médias de vales são compatíveis com esses valores. Os coeficientes de variação dos substratos Sh foram médios para os substratos 2, 3, 4 e 5 e baixo para os substratos 1.

Os resultados de Rvm (Tabela 14) foram divididos em cinco classes, de forma a propor uma classificação de rugosidade por tipo de substratos e a posteriormente correlacionar com a resistência de aderência à tração (RAT). A sugestão de classificação é classe 2 para os substratos 1, 2, 4 e 5 e classe 1 para o substrato 3. A regra considerou que até 80% acumulados define a classe de Rvm.

Tabela 14 - Classes de Rvm - Ch

Classes de Rvm (μm)			Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
C	Mín	Máx					
1	0,73	1,95	34%	31%	78%	14%	18%
2	1,95	3,16	59%	49%	15%	83%	69%
3	3,16	4,38	6%	13%	7%	1%	9%
4	4,38	5,59	1%	6%	0%	0%	4%
5	5,59	6,81	0%	0%	0%	1%	0%
Médias de Rvm			2,32	2,56	1,46	2,33	2,55

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No caso das amostras Sh (Tabela 15), a sugestão de classificação repetiu as mesmas consideradas para as amostras Ch, ou seja, o preparo do substrato não diferenciou os resultados de rugosidade encontrado em cada olaria.

Tabela 15 - Classes de Rvm – Sh

Classes de Rvm (μm)			Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
C	Mín	Máx					
1	0,73	1,95	0%	40%	85%	20%	35%
2	1,95	3,16	100%	35%	15%	65%	41%
3	3,16	4,38	0%	20%	0%	15%	24%
4	4,38	5,59	0%	5%	0%	0%	0%
5	5,59	6,81	0%	0%	0%	0%	0%
Médias de Rvm			2,29	2,66	1,44	2,50	2,56

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os Rvm dos substratos cerâmicos de uma olaria em relação às demais foram comparadas conforme o teste estatístico Z, em um nível de significância de 5% (Tabela 16).

Tabela 16 - Dados do teste Z estatísticos aplicados aos Rvm – Ch

Substratos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Substratos 1	-	1,8754	-6,7251	-0,1195	1,9775
Substratos 2	1,8754	-	-7,8048	1,7972	0,1023
Substratos 3	-6,7251	-7,8048	-	-6,9288	-8,4244
Substratos 4	-0,1195	1,7972	-6,9288	-	1,8955
Substratos 5	1,9775	0,1023	-8,4244	1,8955	-

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Quando o valor de Z é maior que o Z crítico (1,96), conclui-se que não é possível rejeitar a hipótese H_0 , ou seja, conclui-se que o valor de Rvm é significativamente maior que o Rvm de outro substrato. Dessas análises, entende-se que apenas os substratos da olaria 3 apresentam Rvm significativamente diferente dos demais substratos.

Do mesmo modo, o teste Z indicou o substrato 3 significativamente diferente dos demais substratos quanto aos valores de Rvm Sh (Tabela 17).

Tabela 17 - Dados do teste Z estatísticos aplicados aos Rvm - Sh

Substratos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Substratos 1	-	1,709712	-5,27148	0,938509	1,401942
Substratos 2	1,709712	-	4,826637	0,925129	0,356961
Substratos 3	-5,27148	4,826637	-	-4,97715	4,800402
Substratos 4	0,938509	0,925129	-4,97715	-	0,572321
Substratos 5	1,401942	0,356961	4,800402	0,572321	-

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A análise dos parâmetros de áreas média de vales (Amv) apresenta maior influência sobre a aderência, através do aumento da área de contato, pois analisa a área de vale em todo o substrato (Tonietto *et al.*, 2022). A tabela 18 relaciona os dados estatísticos dos Amv.

Tabela 18 - Dados estatísticos de Amv - Substratos Ch

Dados estatísticos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Médias	0,12	0,14	0,10	0,18	0,22
Erro padrão	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004
Desvio-padrão	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04
CV	12%	11%	27%	13%	16%
Variância	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Mínimo	0,10	0,11	0,06	0,10	0,14
Máximo	0,17	0,17	0,21	0,24	0,31

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Quanto aos coeficientes de variação dos substratos Ch, os substratos 3 apresentaram médios valores (27%), os demais substratos resultaram em baixos coeficientes de variação (abaixo de 16%).

Quanto aos dados estatísticos das amostras empregadas Sh (Tabela 19), esses foram semelhantes aos das amostras Ch e seguiram uma mesma tendência de comportamento.

Tabela 19 - Dados estatísticos de Amv - Substratos Sh

Dados estatísticos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Médias	0,12	0,14	0,10	0,18	0,22
Erro padrão	0,004	0,002	0,006	0,004	0,008
Desvio-padrão	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03
CV	12%	7%	25%	10%	15%
Variância	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Mínimo	0,11	0,12	0,07	0,14	0,17
Máximo	0,16	0,15	0,19	0,21	0,29

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os resultados de Amv das amostras indicaram, assim como em Tonietto *et al.* (2022), que os substratos de cerâmica vermelha referentes à olaria 5 apresentaram as maiores médias de áreas médias de vales (Tabela 20).

Tabela 20 - Classes de Amv - Ch

Classes de Amv (mm ²)			Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
C	Mín	Máx					
1	0,06	0,11	29%	4%	84%	1%	0%
2	0,11	0,16	69%	87%	13%	21%	4%
3	0,16	0,21	1%	9%	3%	73%	41%
4	0,21	0,26	0%	0%	0%	4%	46%
5	0,26	0,31	0%	0%	0%	0%	9%
Médias de Amv			0,12	0,14	0,10	0,18	0,22

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Quanto às definições de classes, seguiu-se a mesma regra de considerar o acumulado de 80%. Assim, os substratos 1 e 2 são classe 2; o substrato 3, classe 1; o substrato 4, classe 3 e o substrato 5, classe 4. A Tabela 21 mostra a classificação das amostras Sh.

Tabela 21 - Classes de Amv – Sh

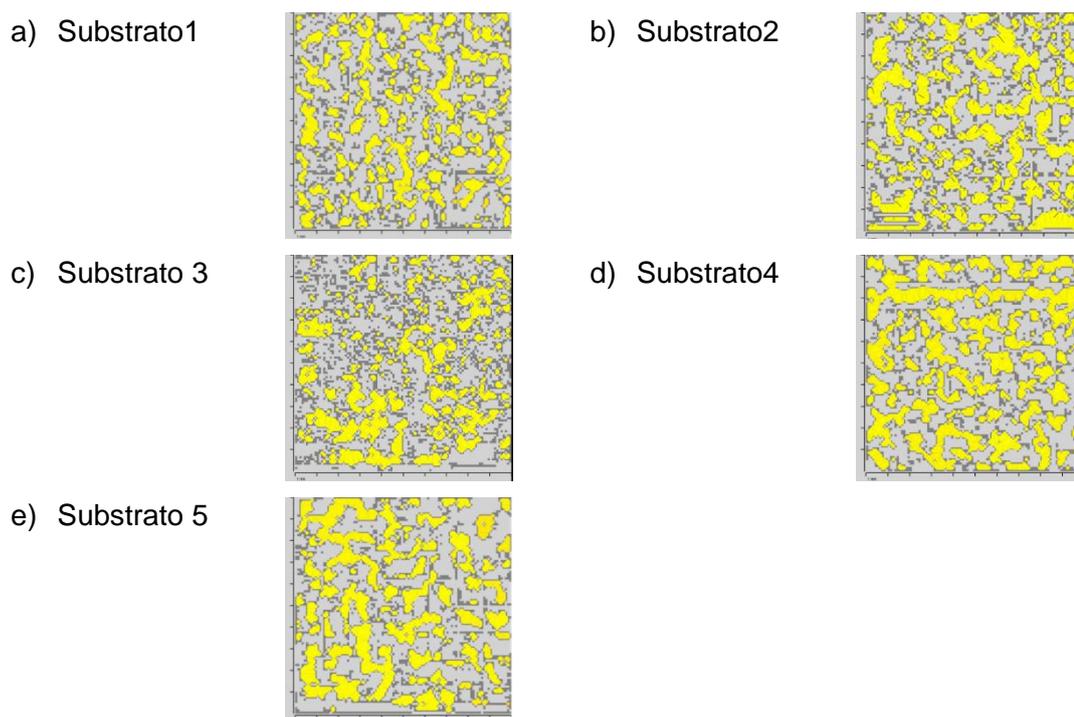
Classes de Amv (mm ²)			Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
C	Mín	Máx					
1	0,06	0,11	13%	0%	75%	20%	35%
2	0,11	0,16	87%	100%	20%	65%	41%
3	0,16	0,21	0%	0%	5%	15%	24%
4	0,21	0,26	0%	0%	0%	0%	0%
5	0,26	0,31	0%	0%	0%	0%	0%
Médias Amv			0,12	0,14	0,10	0,18	0,22

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Observa-se que, apesar de as médias de Amv apresentarem resultados semelhantes, os valores percentuais, divididos nas classes das amostras Sh, alteram-se quando se comparam aos substratos Ch.

A Figura 36 exibe as configurações de áreas de vales (em amarelo) de 1 amostra de cada substrato. Pelas imagens, verifica-se uma concordância com os coeficientes de variação, resultado dos dados estatísticos, em que o substrato 3 apresenta maior dispersão em termos de dimensões das áreas médias de vales e os substratos 4 e 5, vales maiores, porém são de classes distintas.

Figura 36 - Áreas médias de vales das amostras de substratos



Fonte: Tonietto *et al.* (2022).

Foi realizada a comparação das áreas médias dos vales dos substratos cerâmicos de uma olaria em relação às áreas dos demais, utilizando o teste estatístico Z, em um nível de significância de 5% (Tabela 22). Dessas análises, conclui-se que os substratos da olaria 5 apresentam maior média das áreas médias de vales, e dessa forma, maior extensão de aderência e, conseqüentemente, maior RAT.

Tabela 22 - Teste Z para os dados estatísticos de áreas médias de vales (Amv) – Ch

Substratos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Substratos 1	-	6,1911	6,6595	16,4564	21,8703
Substratos 2	6,1911	-	10,8240	11,6119	18,2257
Substratos 3	6,6595	10,8240	-	18,4647	23,3383
Substratos 4	16,4564	11,6119	18,4647	-	8,5591
Substratos 5	21,8703	18,2257	23,3383	8,5591	-

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No caso dos substratos Sh (Tabela 23), o mesmo comportamento se repetiu em comparação às amostras Ch, assim os substratos 5 apresentam as maiores Amv.

Tabela 23 - Teste Z para os dados estatísticos de áreas médias de vales (Amv) - Sh

Substratos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Substratos 1	-	-3,1942	-2,9693	10,4223	10,9870
Substratos 2	-3,1942	-	-5,4265	9,3468	9,9703
Substratos 3	-2,9693	-5,4265	-	-10,7650	23,3383
Substratos 4	10,4223	9,3468	-10,7650	-	4,4055
Substratos 5	10,9870	9,9703	11,7664	4,4055	-

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir dessas análises é possível concluir que os substratos são diferentes entre si quanto aos resultados de médias de áreas médias de vales. Confrontando os resultados de Rvm e Amv, sugere-se que há uma compatibilidade entre os parâmetros que favorece uma maior área de contato entre a pasta e o substrato cerâmico. Nesse sentido, Grigoriadis (2016) cita que uma superfície com picos altos e vales profundos promove uma maior extensão de aderência em comparação com uma superfície com picos baixos e vales rasos, pois assim, mais áreas de superfícies são disponíveis para o material adesivo aderir às rugosidades.

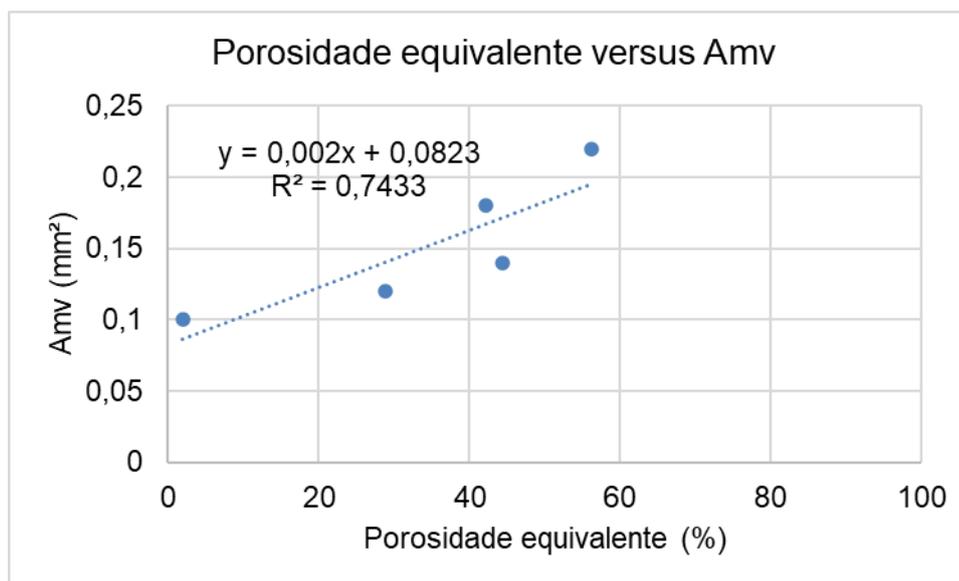
Verifica-se que as pesquisas sobre a rugosidade das superfícies dos blocos cerâmicos são importantes para o entendimento e classificação dessa propriedade, além de criar parâmetros que consigam explicar melhor o comportamento da aderência.

A NBR 15270 (ABNT, 2017) traz parâmetros de caracterização em macroescala e mesoescala, que não conseguem explicar os mecanismos de aderência. Então, é necessária a aplicação de outras técnicas, além do emprego de métodos que avaliem o substrato em microescala e nanoescala, contemplando as

propriedades de forma mais abrangente, com o objetivo de explicar a interação da argamassa de revestimento com o substrato.

Ao comparar os dados de porosidades equivalentes das amostras Ch às médias de Amv, verificou-se uma relação linear crescente entre esses parâmetros (Figura 37), com coeficiente de determinação de 74,33%.

Figura 37 - Porosidade equivalente *versus* Amv – Ch



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Nos substratos Sh a relação linear apresentou um coeficiente de determinação de 12,32%, uma vez que esses substratos também sofrem o efeito da sucção capilar dos blocos cerâmicos que, por ser muito variável, diminui a correlação entre a porosidade total média e as Amv.

Para materiais cerâmicos, a porosidade ocorre entre 20 e 30% (BELLEI *et al.*, 2021), contudo, mesmo com penetração total das partículas da matriz nos poros do substrato, a ancoragem mecânica não deve ser condicionada apenas a este fator para promover a adesão substrato-matriz (COSTA; KUROKAWA; JOHN, 2013).

4.1.2 Conclusões da primeira etapa

Desta primeira etapa da pesquisa, conclui-se que os substratos cerâmicos não apresentam homogeneidade quanto à superfície, sendo assim, exibem diferentes rugosidades.

O hidrofugante mostrou-se eficiente do ponto de vista de separar a sucção dos produtos cerâmicos, pois os resultados de Amv apresentaram uma boa correlação com a porosidade equivalente dos substratos Ch.

Em relação à aderência entre substratos e revestimentos, é conhecido que um substrato mais rugoso aumenta a área potencial de contato do adesivo com a superfície do substrato, conseqüentemente aumentando a resistência de aderência. Entretanto, ainda não há consenso de que esse comportamento geral possa ser aplicado a argamassas de revestimento (HOLA, 2015; WANG, 2014). Dessa forma, as conclusões dessa etapa explicam em parte essas dúvidas sobre a influência do aumento da rugosidade sobre a aderência.

Conforme Kozubal *et al.* (2020) e Ma *et al.* (2017), para que se possa modelar as áreas de contato entre a pasta de cimento e o substrato, a partir de funções que simulam a probabilidade de densidade de partículas do cimento no plano da superfície, é imprescindível que se conheça os parâmetros de rugosidade de superfície do substrato.

4.2 SEGUNDA ETAPA

Os objetivos específicos dessa etapa foram de estudar a influência de uma única pasta, empregando o cimento CP V - ARI, quanto à resistência de aderência à tração em cinco diferentes substratos cerâmicos, além de avaliar a dispersão da RAT em um mesmo substrato e assim verificar a influência dos parâmetros de rugosidade de blocos cerâmicos na aderência de revestimentos de argamassas. Os estudos aplicados nessa etapa foram correlacionados aos resultados da primeira etapa.

4.2.1 Resistência de aderência à tração

Os dados estatísticos das médias das amostras Ch estão exibidos na Tabela 24. No Apêndice D são apresentados todos os dados de RAT.

Tabela 24 - Dados estatísticos RAT - Ch

Dados estatísticos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Médias	0,62	0,61	0,78	0,61	0,85
Erro padrão	0,014	0,017	0,037	0,024	0,028
Mediana	0,64	0,64	0,73	0,54	0,81
Desvio-padrão	0,11	0,14	0,30	0,20	0,25
CV	18%	23%	38%	33%	29%
Variância	0,013	0,018	0,091	0,042	0,060
Mínimo	0,35	0,26	0,32	0,38	0,44
Máximo	0,85	0,87	1,45	1,30	1,47
Nível de confiança (95%)	0,028	0,033	0,073	0,049	0,057

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Ainda que seja utilizada uma mesma pasta, observa-se uma dispersão nos valores da aderência. Os valores de RAT foram para os substratos Ch da olaria 1 igual a 0,62 MPa e para a olaria 2, 0,61 MPa, e esses substratos resultaram em baixos coeficientes de variação, 18% e 23% respectivamente. As RAT dos demais substratos foram para os substratos 3, 4 e 5 - 0,78 MPa, 0,61 MPa e 0,85 MPa, bem como esses substratos apresentaram médios coeficientes de variação. Verificou-se, dessa forma, que mantiveram a tendência de comportamento dos resultados de rugosidades.

Os dados estatísticos das amostras Sh estão exibidos na Tabela 25.

Tabela 25 - Dados estatísticos RAT - Sh

Dados estatísticos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Médias	0,41	0,57	0,64	0,63	0,62
Erro padrão	0,008	0,044	0,040	0,033	0,028
Mediana	0,41	0,55	0,60	0,61	0,62
Desvio-padrão	0,03	0,20	0,18	0,15	0,12
CV	7%	35%	28%	24%	19%
Variância	0,001	0,038	0,032	0,021	0,013
Mínimo	0,36	0,29	0,47	0,43	0,44
Máximo	0,46	0,91	1,23	0,92	0,92
Nível de confiança (95%)	0,018	0,091	0,084	0,068	0,059

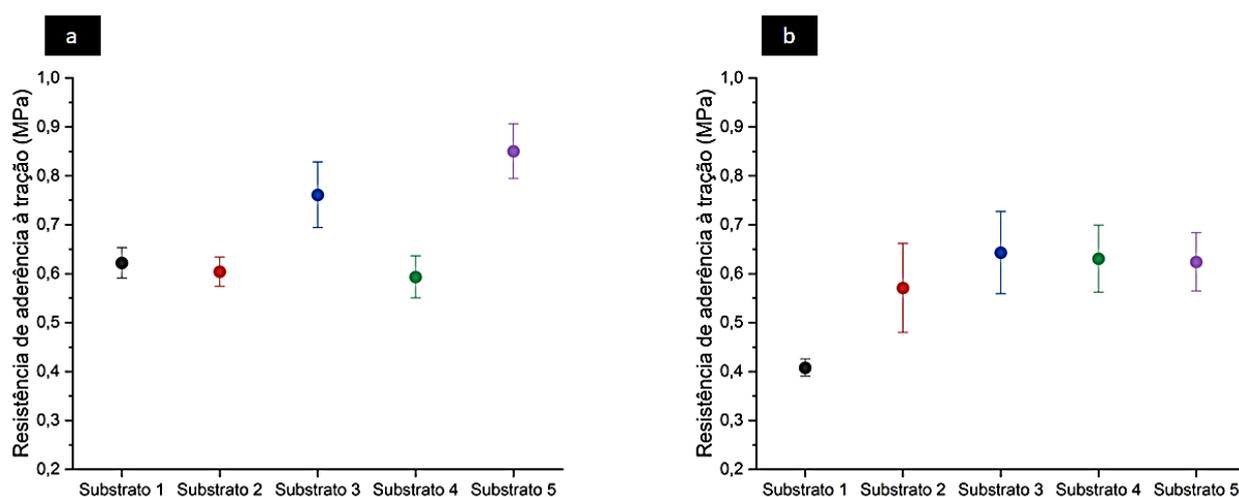
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os valores de aderência foram 0,41 MPa, 0,57 MPa, 0,64MPa, 0,63MPa e 0,62 MPa, respectivamente, por ordem crescente de nomenclatura dos substratos Sh. Os coeficientes de variação foram baixos para os substratos 1, 4 e 5 e médios

para os 2 e 3. Comparando-se as Tabelas 24 e 25, identifica-se que os resultados de RAT para os substratos Ch apresentaram médias de resistência de aderência à tração superiores quando comparadas aos substratos Sh no caso dos substratos 1, 3 e 5.

Entretanto, para se verificar se os valores de aderência são significativamente diferentes entre si, é preciso considerar as variâncias de cada olaria, o que é avaliado a seguir na Figura 38.

Figura 38 - Médias e desvios-padrão de RAT : a) Ch, b)Sh



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os substratos 1 apresentaram os menores desvios-padrão, seguindo a tendência dos parâmetros de rugosidades, assim como os substratos 3 apresentaram altos coeficientes de variação de RAT, influenciados pelos resultados de Rvm e Amv.

Foi aplicada a análise de estatística por meio do teste Z de médias ao nível de significância de 5% e Z crítico bicaudal igual a 1,96 (Tabela 26). Nessa etapa esse teste foi empregado para confirmar se as RAT Ch são diferentes entre os diferentes substratos. Os substratos 1, 2 e 4 apresentaram médias que não podem ser consideradas significativamente diferentes. O substrato 3 apresentou médias significativamente diferentes de todos os demais substratos, assim como o substrato 5.

Tabela 26 - Teste Z dos dados estatísticos de RAT - Ch

Substratos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Substratos 1	-	-0,3841	4,1384	-0,3294	7,2898
Substratos 2	-0,3230	-	4,2477	-0,0320	7,2839
Substratos 3	4,1384	4,2477	-	3,8987	-1,4948
Substratos 4	-0,3294	-0,0320	3,8987	-	6,4195
Substratos 5	7,2898	7,2839	-1,4948	6,4195	-

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No caso das amostras Sh (Tabela 27), a análise de estatística do teste Z de médias ao nível de significância de 5% e Z crítico bicaudal igual a 1,96, mostrou que os substratos 1 apresentaram as médias significativamente diferentes dos demais substratos, contudo os substratos 2, 3, 4 e 5 não são diferentes entre si.

Tabela 27 - Teste Z dos dados estatísticos de RAT - Sh

Substratos	Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Substratos 1	-	3,5894	5,9464	6,8210	8,4554
Substratos 2	3,5894	-	-1,220	-1,0881	-1,0459
Substratos 3	5,94644	-1,220	-	0,2519	0,4154
Substratos 4	6,8210	-1,0881	0,2519	-	0,1603
Substratos 5	8,4554	-1,0459	0,4154	0,1603	-

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os resultados das RAT concordaram com os estudos de Costa (2014), em que os substratos Sh apresentaram médias inferiores quando comparadas aos substratos Ch. A hipótese proposta para explicar o fenômeno é que nos substratos sem hidrofugante a água é succionada rapidamente, transportando as partículas para a interface, e do ponto de vista reológico ocorre um enrijecimento elevado, dificultando o fluxo da pasta, uma vez que a precipitação de compostos hidratados depende da concentração de íons na solução. Se não houver a penetração de partículas nos poros do substrato, a matriz será filtrada. Desse modo, a concentração de íons da água absorvida pelos poros seria inferior à da matriz aplicada (COSTA; KUROKAWA; JOHN, 2013).

Já para as amostras Ch, Costa (2014) sugere que, devido à retenção de água que o hidrofugante proporciona, a sucção da nata de cimento para o substrato ocorre de forma mais lenta e contínua, gerando uma maior extensão de contato físico. Para a autora, a camada de hidrofugante aplicada na superfície dos blocos

deveria impedir a penetração de água nos poros pela modificação da energia superficial, mas permitir o transporte de fluidos gasosos.

Sendo assim, a penetração dos íons solúveis do cimento durante a hidratação deveria ser dificultada, diminuindo a formação dos compostos hidratados nos poros dos blocos. No entanto, o aumento da resistência de aderência ocorre em função da formação de ligações cruzadas entre o hidrofugante da superfície do bloco e a camada intermediária de água do C-S-H nanoestruturado formado durante a hidratação do cimento na superfície (COSTA, 2014).

Quanto às classes de aderência para os substratos Ch (Tabela 28), essas também foram divididas em 5, assim como foi proposto para os parâmetros de rugosidade.

Tabela 28 - Classes de RAT – Ch

CLASSES DE RAT			Substratos	Substratos	Substratos	Substratos	Substratos
Classes	Mín	Máx	1	2	3	4	5
1	0,26	0,50	19%	18%	18%	34%	4%
2	0,50	0,74	69%	70%	34%	47%	36%
3	0,74	0,99	12%	12%	24%	11%	31%
4	0,99	1,23	0%	0%	15%	6%	19%
5	1,23	1,47	0%	0%	10%	1%	9%
Médias de RAT (MPa)			0,62	0,61	0,78	0,61	0,85

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os substratos 1, 2 e 4 foram classificados na classe 2 de aderência, considerando que mais de 80% dos seus resultados se apresentam na faixa 2. Os substratos 3 exibiram percentuais em todas as faixas, compatível com o coeficiente de variação mais alto e sob a influência dos parâmetros de rugosidade. Porém, a classe 3 apresentou acumulados de 76%. Os substratos 5 apresentaram percentuais acumulados de 86% compreendidos até a classe 4, porém a classificação considerada é classe 3, assim como o substrato 3.

Na Tabela 29 pode-se visualizar as classes de aderência para os substratos Sh.

Tabela 29 - Classes de RAT – Sh

CLASSES DE RAT			Substratos 1	Substratos 2	Substratos 3	Substratos 4	Substratos 5
Classes	Mín	Máx					
1	0,26	0,50	100%	40%	5%	25%	18%
2	0,50	0,74	0%	30%	80%	55%	76%
3	0,74	0,99	0%	30%	5%	20%	6%
4	0,99	1,23	0%	0%	10%	0%	0%
5	1,23	1,47	0%	0%	0%	0%	0%
Médias de RAT (MPa)			0,41	0,57	0,64	0,63	0,62

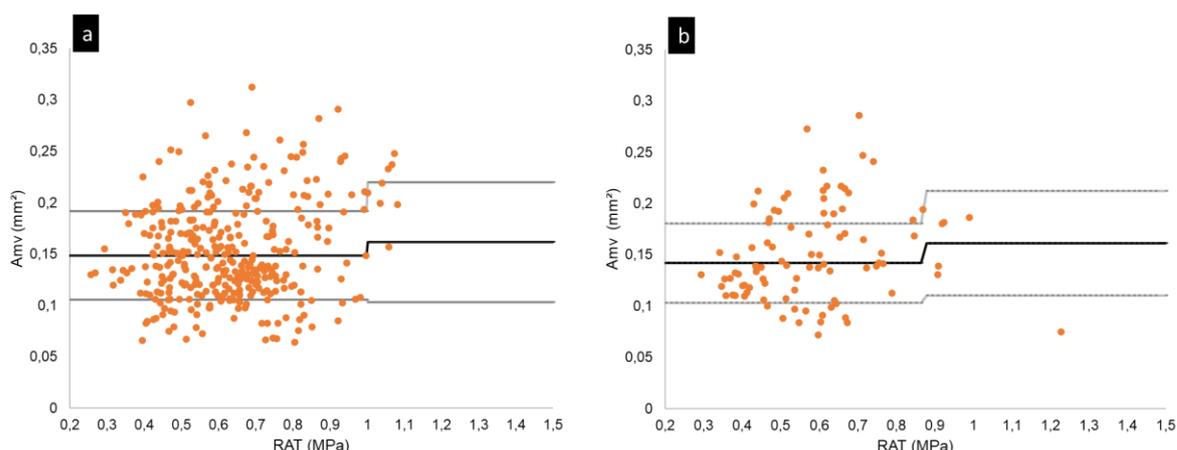
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Na condição Sh, os substratos 1 foram classificados na classe 1 de RAT, considerando que 100% dos seus resultados exibiram nessa faixa. Os substratos 2 exibiram percentuais classificados na classe 3, uma vez que o somatório percentual de 80% foi adquirido nessa classe. Já os substratos 3, 4 e 5 apresentaram 80% acumulados na classe 2.

4.2.2 Análises da influência dos parâmetros de rugosidade sobre a resistência de aderência à tração

As classes de RAT exibiram um comportamento influenciado pelos parâmetros de rugosidade. Ao analisar a influência das Amv, de forma isolada, em relação à aderência dos substratos Ch e Sh (Figura 39), verificou-se que o aumento das áreas médias de vales exibe uma tendência a favorecer o aumento da área de contato entre a pasta e o substrato (a linha horizontal intermediária da Figura 39 indica a média entre os valores de Amv, e ela se desloca para cima à medida que a RAT aumenta).

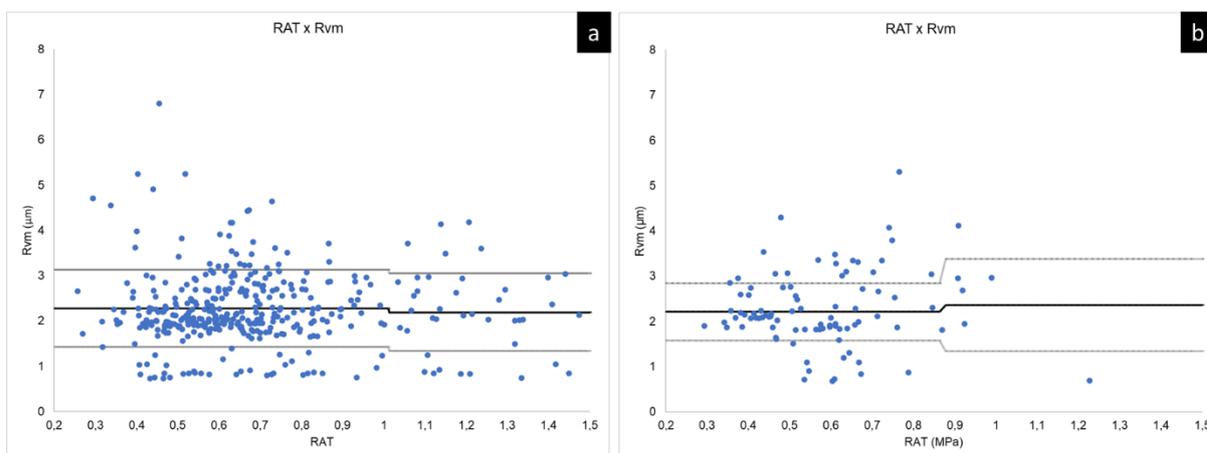
Figura 39 - Faixas de Amv versus RAT: a) Ch, b) Sh



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A Figura 40 ilustra a análise isolada entre o Rvm e a RAT.

Figura 40 - Faixas de Rvm *versus* RAT: a) Ch, b) Sh

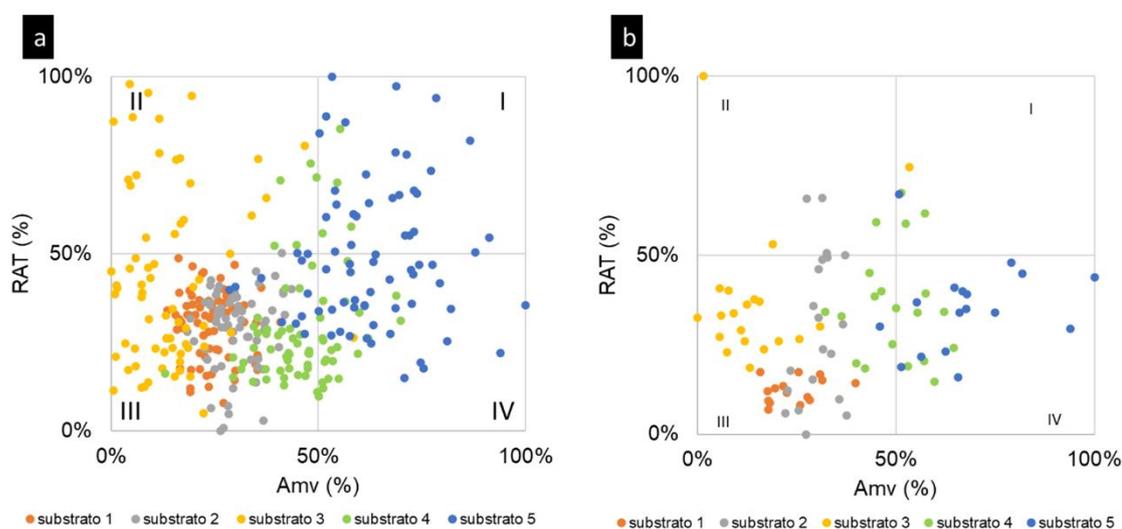


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Verificou-se que os incrementos dos parâmetros apresentam uma tendência a favorecer o aumento da área de contato. A hipótese é que no caso dos substratos Sh, ocorre a sucção de água e assim o aumento da profundidade dos vales é benéfico à aderência, o que para os substratos Ch ocasiona um acúmulo de água na interface e poderá beneficiar a formação de uma interface mais densificada de produtos de hidratação e melhorar a área de contato.

A análise estatística realizada a partir dos dados normalizados de RAT *versus* Amv pode ser visualizada na Figura 41 a e b.

Figura 41 - Dispersão RAT *versus* Amv: a) Ch, b) Sh

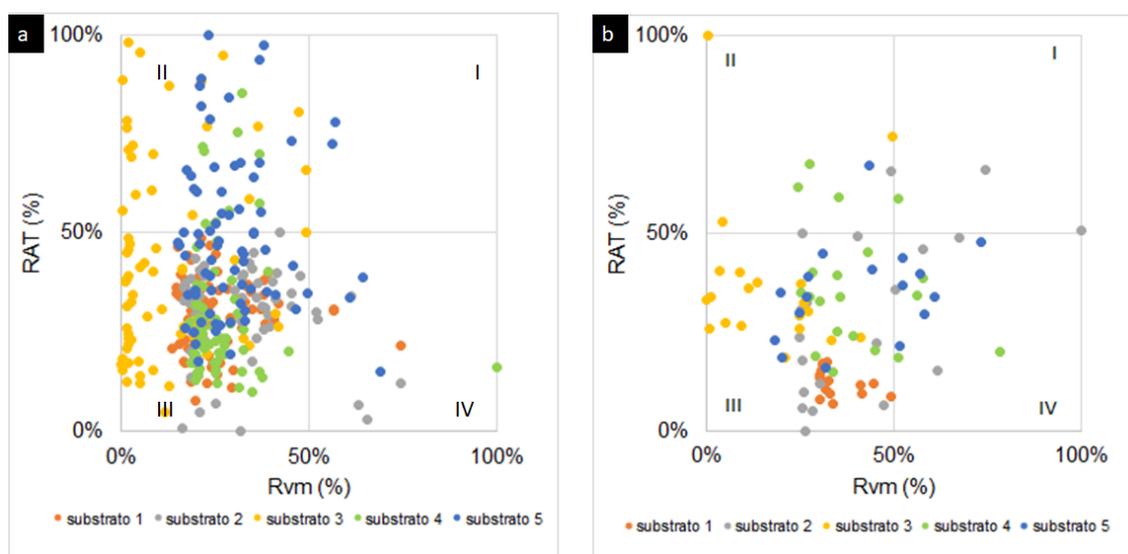


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os valores percentuais de Amv mostram que os substratos 5 ocupam os quadrantes I e IV. Os substratos 3 ficaram localizados nos quadrantes II e III. Os demais substratos apresentaram a tendência a uma localização no quadrante III. No entanto, nenhum substrato demonstrou relação linear entre as propriedades.

A análise estatística realizada a partir dos dados normalizados de RAT *versus* Rvm pode ser visualizada na Figura 42 a e b.

Figura 42 - Dispersão RAT *versus* Rvm: a) Ch, b) Sh

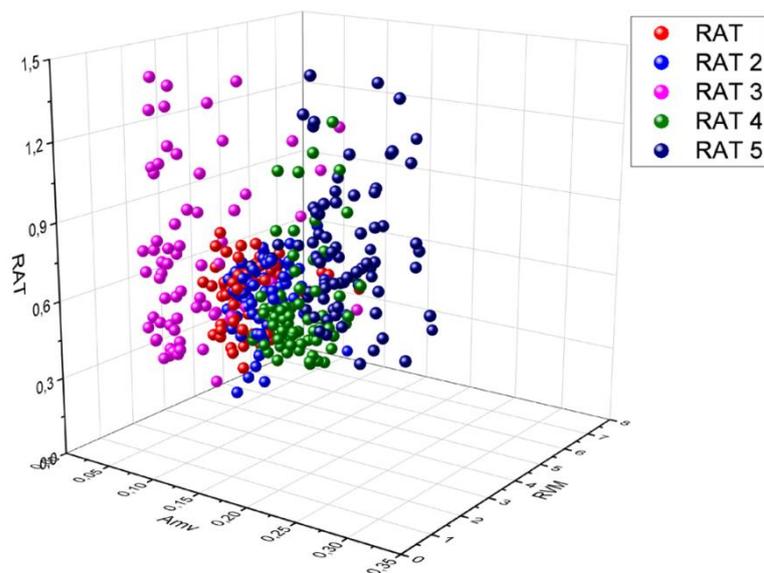


Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No caso dos parâmetros de rugosidade Rvm, os substratos 3 e 5 apresentaram pontos nos quadrantes II e III e os demais substratos localizaram-se no quadrante III para a condição Ch, entretanto, as amostras Sh concentraram-se no quadrante III. Os resultados demonstram uma correlação nula entre as variáveis.

O gráfico 3D das amostras Ch (Figura 43) ilustra os valores de RAT e parâmetros de rugosidade dos substratos 3 e 5 localizados mais para as extremidades e os demais substratos mais centralizados. Não foi ilustrado o gráfico referente às amostras Sh, pois os resultados não possibilitaram uma imagem que permitisse entender algum comportamento.

Figura 43 - Gráfico de dispersão 3D dos parâmetros de rugosidade versus RAT- Ch



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Foi realizada também a análise estatística, por meio da regressão linear múltipla, com a finalidade de responder qual dos parâmetros melhor se relaciona com a RAT. Nas amostras Ch, verificou-se que o parâmetro Amv, numa análise do conjunto de todos os substratos, é o que melhor explica a RAT (Tabela 30).

Tabela 30 - Regressão linear múltipla por substrato e geral - Ch

Resumo	β	X1 Rvm	X2 Amv	F	F de significância
Substrato 1	0,71	0,00	-0,79	0,30	0,74
<i>valor-ρ</i>	0,00	0,89	0,44		
Substrato 2	0,48	- 0,02	1,26	0,86	0,43
<i>valor-ρ</i>	0,00	0,44	0,26		
Substrato 3	0,77	0,07	-0,85	0,71	0,50
<i>valor-ρ</i>	0,00	0,27	0,65		
Substrato 4	0,13	0,03	2,38	2,54	0,09
<i>valor-ρ</i>	0,59	0,50	0,03		
Substrato 5	0,79	-0,01	0,35	0,10	0,90
<i>valor-ρ</i>	0,00	0,89	0,68		
Geral	0,61	-0,03	0,98	6,95	-
<i>valor-ρ</i>	0,00	0,06	0,00		

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A equação de Regressão linear para a estimativa de RAT, para cada substrato, é:

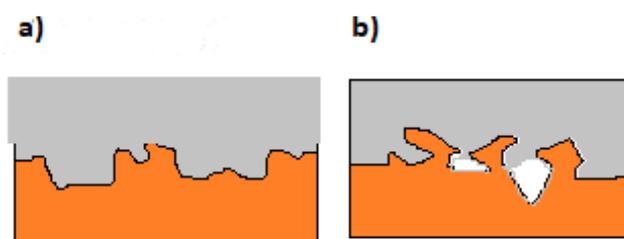
$$\text{RAT} = \beta + X1 \cdot \text{Rvm} + X2 \cdot \text{Amv}. \quad (1)$$

A resultante da regressão linear múltipla, considerando todas as amostras, é igual a $RAT = 0,61 - 0,03 \cdot Rvm + 0,98 \cdot Amv$. Contudo, esta equação quando utilizada para a análise individual de cada substrato não consegue estimar resultados de aderência com um coeficiente de determinação significativo estatisticamente.

Os coeficientes de determinação (apêndice N) foram significativamente próximos de zero, demonstrando um modelo inadequado e *p-valor*, no geral, foram superiores a 0,05. No caso dos substratos 1 e 5, o F de significância foi superior ao F calculado, assim ficou demonstrado que uma única equação não explica a correlação direta entre os parâmetros de rugosidade e a RAT.

Individualmente, observou-se que para os substratos 5, o coeficiente X2 foi igual a 0,35 e os demais substratos apresentaram essa variável de valor superior, o que sugeriu a hipótese que deve existir uma compatibilidade entre os dois parâmetros que melhor explique a RAT, ou seja, de nada adianta apresentar as Amv largas se o Rvm não permite que a pasta chegue aos fundos dos vales e consiga uma maior área de contato, conforme demonstrado na Figura 44.

Figura 44 - Perfil de rugosidade: a) vales mais largos e Rvm mais rasos; b) vales mais estreitos e Rvm mais profundos



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A regressão linear no caso das amostras Sh (Tabela 31) também indicou maior influência das Amv e os F calculados foram significativos.

Tabela 31 - Regressão linear múltipla por substrato e geral - Sh

(continua)

Resumo	β	X1 Rvm	X2 Amv	F	F de significância
Substrato 1	0,47	-0,04	0,19	1,17	0,34
<i>valor-p</i>	0,01	0,29	0,79		
Substrato 2	-0,41	0,11	5,00	5,11	0,02
<i>valor-p</i>	0,45	0,01	0,20		
Substrato 3	0,52	-0,07	2,27	0,72	0,50

(conclusão)

Resumo	β	X1 Rvm	X2 Amv	F	F de significância
<i>valor-ρ</i>	0,01	0,35	0,27		
Substrato 4	0,91	-0,06	-0,64	0,72	0,50
<i>valor-ρ</i>	0,03	0,25	0,73		
Substrato 5	0,49	0,05	0,04	1,00	0,39
<i>valor-ρ</i>	0,03	0,23	0,97		
Geral	0,48	0,00	0,63	1,45	0,24
<i>valor-ρ</i>	0,00	0,92	0,13		

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A hipótese é que existe uma adequação de Rvm e Amv, nos casos das amostras Ch, pois os substratos 3 e 5 apresentaram valores de RAT médias significativamente diferentes dos demais substratos, mesmo com enquadramento de classes diferentes. A Tabela 32 demonstra os resultados de RAT médias em função dos dois parâmetros. As classes foram analisadas de acordo com os incrementos de Amv de 0,02 mm².

Tabela 32 - Classes de Amv - conjunto de substratos Ch

Classes Amv (mm ²)	N	Amv - média (mm ²)	Amv DV	CV %	Rvm - média (μ m)	Rvm DV	CV %	RAT - média (MPa)	RAT DV	CV %
médias 0,06-0,08	18	0,07	0,005	7	0,98	0,29	30	0,84	0,33	39
médias 0,08-0,10	22	0,09	0,006	6	1,52	1,31	86	0,72	0,28	39
médias 0,10-0,12	49	0,11	0,005	5	1,93	0,69	35	0,68	0,21	31
médias 0,12-0,14	78	0,13	0,006	5	2,39	0,70	29	0,60	0,14	23
médias 0,14-0,16	42	0,15	0,005	3	2,53	0,92	36	0,62	0,17	28
médias 0,16-0,18	35	0,17	0,005	3	2,38	0,52	22	0,65	0,16	25
médias 0,18-0,20	38	0,19	0,006	3	2,57	0,64	25	0,73	0,30	41
médias 0,20-0,22	27	0,21	0,006	3	2,48	0,59	24	0,80	0,24	30
médias 0,22-0,24	14	0,23	0,007	3	2,16	0,38	18	0,84	0,26	31
médias 0,24-0,26	16	0,25	0,006	3	2,78	0,84	30	0,88	0,27	31
médias 0,26-0,28	3	0,26	0,003	1	2,57	0,83	32	0,67	0,10	15
médias 0,28-0,30	4	0,29	0,008	3	2,32	0,43	19	0,89	0,30	33

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Conforme os resultados, verificou-se que os coeficientes de variação das RAT médias foram de 15 a 41%, porém os Rvm apresentam uma maior influência nos incrementos de CV, pois resultaram em valores de 19 a 86%. Já os CV de Amv foram inferiores - entre 1 e 7%. Na Tabela 33 foi demonstrada a matriz de

rugosidade proposta nesse estudo com os dados de RAT, das amostras Ch, *versus* os parâmetros de rugosidade.

Tabela 33 - Matriz RAT *versus* parâmetros de rugosidade - Ch

Amv (mm ²)	Rvm (µm)	
	< 2,0 µm	entre 2,0 µm e 3,0 µm
0,07	0,84	
0,09	0,72	
0,11	0,68	
0,13		0,60
0,15		0,62
0,17		0,65
0,19		0,73
0,21		0,80
0,23		0,84
0,25		0,88

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Inserindo os resultados das classes de RAT médias *versus* as classes dos parâmetros de rugosidade, confirma-se a ideia principal da matriz de mostrar que à medida que ocorrem vales mais profundos, esses requerem alargamentos de lagos. Verificou-se que, a partir das Amv de 0,19 mm², os resultados de RAT médias foram melhorados para os Rvm compreendidos entre 2,16 e 2,78 µm, além do valor de 0,98 µm, que mesmo para uma Amv igual a 0,07 mm², também ocorreu incremento da aderência. A matriz de rugosidade possibilita verificar diferenças de RAT médias de até 42%.

A matriz de rugosidade demonstrou que Rvm menores que 2 µm beneficiam a RAT quando esses substratos apresentam áreas médias de vales até 0,11 mm². Contudo, Rvm superiores a 2 µm prejudicam a RAT quando a Amv é menor que 0,17 mm².

A proposta da matriz ocorreu em virtude de os substratos 1 e 4 apresentarem resultados de Rvm das amostras Ch significativamente iguais, porém o valor médio de Amv dos substratos 4 foi 50% maior, o que não impactou em diferenças significativas na aderência. Assim como os substratos 2 e 5, que também apresentaram Rvm significativamente iguais, mas as Amv do último representaram 57% maior que do primeiro, o que influenciou significativamente para o aumento da aderência. Os substratos da olaria 5 foram os que apresentaram os maiores resultados de aderência e parâmetros de rugosidade.

A Tabela 34 ilustra as classes de parâmetros de rugosidade e resultados de RAT médias separados conforme as Classes que os respectivos substratos apresentaram. Nesse caso, foram excluídos os conjuntos de amostras menores que 12.

Tabela 34 - Classes de Amv por substratos individuais - Ch

Substratos 1				
N	Classes Amv	Amv - médias (mm²)	Rvm - médias (µm)	RAT - médias (MPa)
28	médias 0,10-0,12	0,11	2,21	0,64
30	médias 0,12-0,14	0,13	2,21	0,61
Médias		0,12	2,21	0,63
Desvio-padrão		0,01	0,00	0,02
Substratos 2				
37	médias 0,12-0,14	0,13	2,53	0,60
19	médias 0,14-0,16	0,15	2,55	0,59
Médias		0,14	2,54	0,59
Desvio-padrão		0,01	0,02	0,01
Substratos 3				
37	médias 0,06-0,10	0,08	1,08	0,79
22	médias 0,10-0,12	0,11	1,53	0,73
Médias		0,09	1,31	0,76
Desvio-padrão		0,02	0,32	0,04
Substratos 4				
21	médias 0,16-0,18	0,17	2,18	0,61
24	médias 0,18-0,20	0,19	2,35	0,59
Médias		0,18	2,26	0,60
Desvio-padrão		0,01	0,12	0,01
Substratos 5				
14	médias 0,18-0,20	0,19	2,85	0,93
17	médias 0,20-0,22	0,21	2,45	0,82
16	médias 0,24-0,26	0,25	2,78	0,88
Médias		0,22	2,69	0,88
Desvio-padrão		0,03	0,21	0,05

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os substratos 1 e 2 apresentaram uma indicação de RAT semelhante, porém observou-se os resultados de Rvm que são significativamente diferentes entre os dois substratos. Dessa forma, as Amv dos substratos 2, indicam a necessidade de alargamentos das áreas médias de vales para beneficiar a RAT.

Nos casos dos substratos 3 e 5, esses seguiram a tendência de comportamento de proporcionalidade entre os parâmetros de rugosidade, mesmo classificados em classes diferentes, pois se observou uma adequação de Amv e

Rvm que beneficiaram as RAT médias, seguindo a tendência da matriz de rugosidade proposta.

A princípio, o efeito favorável da rugosidade seria o aumento real da área de contato da aderência da argamassa ao substrato, e não ao maior intertravamento mecânico entre as partes. O comportamento concorda Masuero (1993), que cita que a rugosidade excessiva prejudica o molhamento total superficial e dificulta a aplicação de uma camada homogênea da argamassa empregada.

A hipótese é que ocorre um incremento de RAT conforme a adequação de Rvm e Amv, ou seja, uma superfície com as características do substrato 3 pode apresentar uma maior RAT média quando comparada aos substratos 1, 2 e 4, mesmo que esses apresentem Rvm significativamente maiores. Tais resultados denotam que os distintos substratos apresentam heterogeneidades tridimensionais em uma mesma face e em mesmo lote de diferentes olarias. A Tabela 35 mostra os dados de Classes de Amv das amostras Sh.

Tabela 35 - Classes de Amv – conjunto de substratos Sh

Classes Amv (mm ²)	N	Amv - média (mm ²)	Amv DV	CV %	Rvm - média (µm)	Rvm DV	CV %	RAT - média (MPa)	RAT DV	CV %
médias 0,06-0,08	2	0,07	0,002	3	1,29	0,84	65	0,91	0,45	49
médias 0,08-0,10	9	0,09	0,006	6	1,13	0,54	48	0,59	0,06	10
médias 0,10-0,12	15	0,11	0,006	5	2,10	0,56	27	0,48	0,13	27
médias 0,12-0,14	20	0,13	0,006	5	2,45	0,78	32	0,53	0,18	33
médias 0,14-0,16	11	0,15	0,006	4	2,63	1,13	43	0,56	0,15	27
médias 0,16-0,18	8	0,17	0,004	3	2,41	0,56	23	0,63	0,12	19
médias 0,18-0,20	13	0,19	0,000	3	2,42	0,54	22	0,68	0,21	30
médias 0,20-0,22	9	0,21	0,004	2	2,32	0,68	29	0,59	0,08	14
médias 0,22-0,24	1	0,23	0,000	0	3,48	0,00	0	0,61	0,00	0
médias 0,24-0,26	2	0,24	0,000	2	3,09	1,39	45	0,73	0,02	3
médias 0,26-0,28	1	0,27	0,006	0	3,36	0,00	0	0,57	0,00	0
médias 0,28-0,30	1	0,29	0,006	0	3,09	0,00	0	0,70	0,00	0

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

No caso das amostras Sh, os coeficientes de variação das RAT médias foram de 3 a 49%. Os Rvm repetiram assim como para os substratos Ch, uma maior influência nos incrementos de CV, pois resultaram em valores de 22 a 65%. Já os CV de Amv foram inferiores; entre 3 e 6%.

A matriz de rugosidade dos substratos Sh está ilustrada na Tabela 36.

Tabela 36 - Matriz RAT *versus* parâmetros de rugosidade - Sh

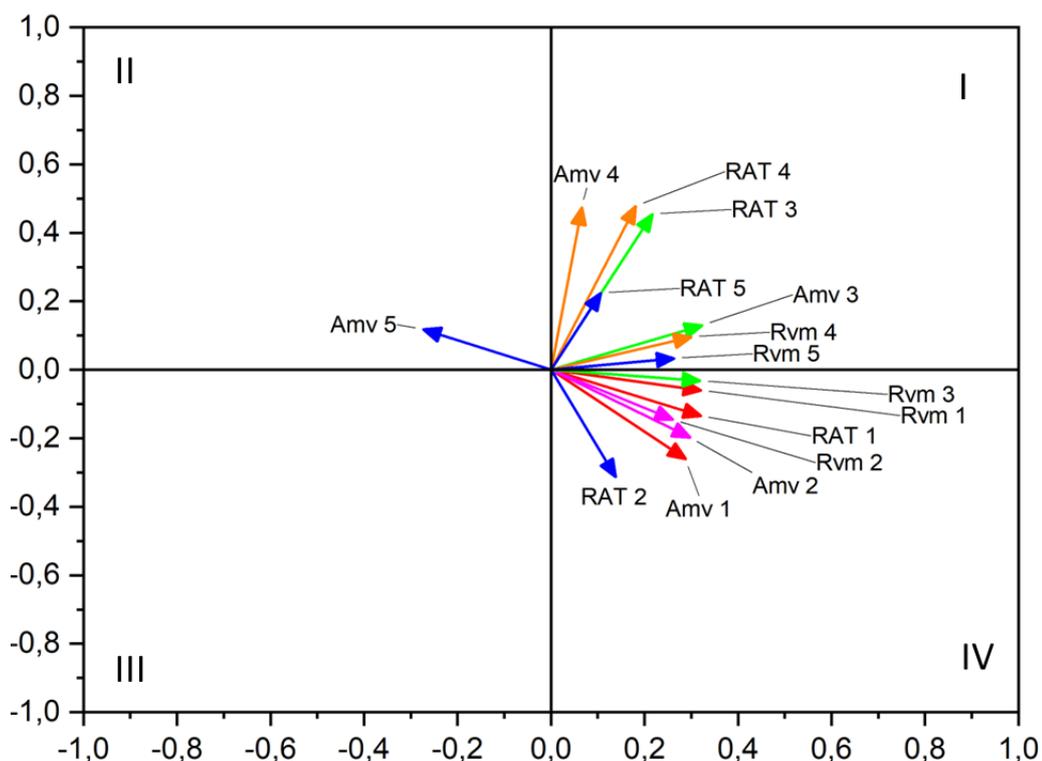
Amv (mm ²)	Rvm (μm)
	entre 2,0 μm e 3,0 μm
0,11	0,48
0,13	0,53
0,15	0,56
0,19	0,68

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os intervalos de Rvm representativos foram de 2,10 a 2,63 μm e Amv entre 0,11 e 0,19 mm². Dessa forma, observou-se que o aumento da Amv proporcionou benefícios à RAT.

A análise estatística PCA (Figura 45), neste estudo indicou o mesmo comportamento de classificação da matriz de rugosidade proposta, em que, dependendo da compatibilidade entre os parâmetros de rugosidade, é possível indicar a tendência da RAT.

Figura 45 - Análise PCA - amostras Ch



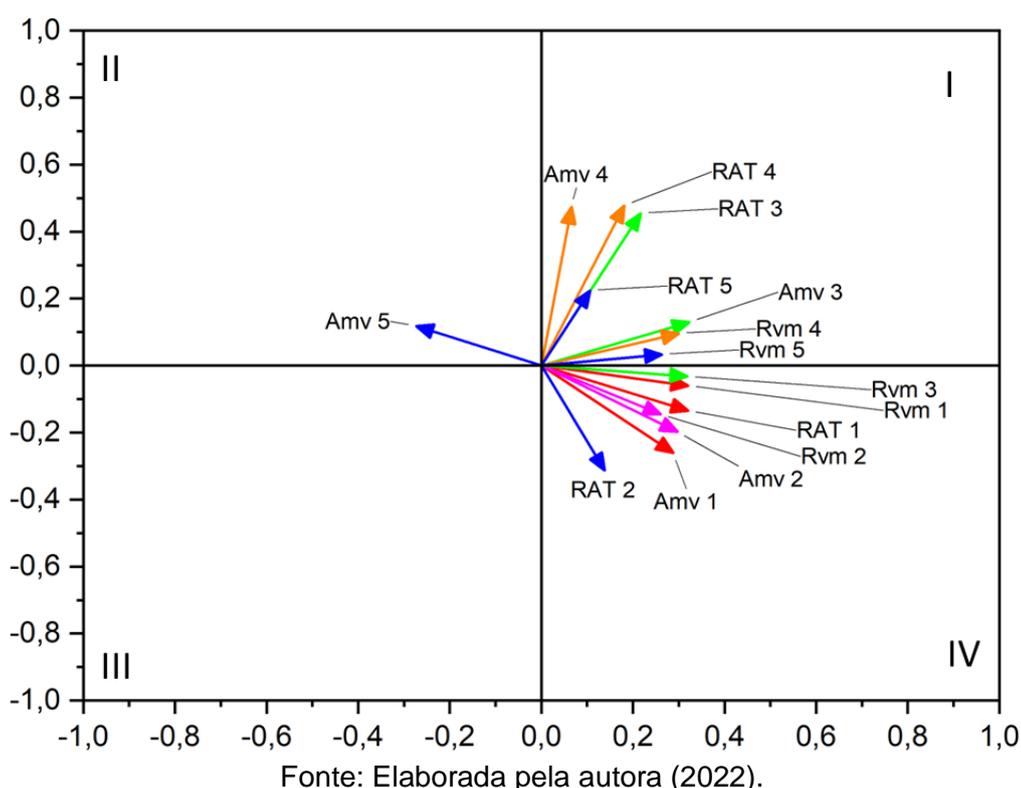
Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Neste contexto, as RAT dos substratos 3 e 5, localizadas no quadrante I, indicam uma maior área de contato em virtude da proporcionalidade Amv e Rvm. As

RAT dos substratos 2 e 4 localizaram-se no quadrante IV, indicando um autovetor de redução da aderência, acompanhando o comportamento dos respectivos Rvm. A RAT dos substratos 1 indicou uma tendência intermediária ao aumento, porém essa foi prejudicada em função de o autovetor de Rvm sinalizar um aumento de altura não adequado à Amv. Essa análise permite, que um conjunto de diferentes olarias selecione, através de gráficos e de maneira visual, aquela que melhor apresente uma tendência de beneficiar a aderência.

O PCA elaborado a partir das amostras Sh consta da Figura 46.

Figura 46 - Análise PCA - amostras Sh



O gráfico resultante da análise PCA mostrou os autovetores mais dispersos, acompanhando os parâmetros de rugosidade Rvm e Amv, em que as RAT 3, 4 e 5 estão localizadas no quadrante I, com a tendência de incremento de aderência. Já as RAT 1 e 2 foram direcionadas para o quadrante IV, com uma tendência decrescente de aderência.

4.2.3 Conclusões da segunda etapa

A partir do programa experimental realizado na segunda etapa do estudo, conclui-se que os Rvm apresentam coeficientes de variação maiores quando comparados aos CV das Amv e esses parâmetros influenciaram no CV das RAT.

Deve existir uma compatibilidade entre os parâmetros de Rvm e Amv que auxiliam no entendimento dos mecanismos de aderência, de forma que a pasta consiga espalhar melhor e garantir uma área de contato mais efetiva. O hidrofugante empregado contribuiu para a melhoria da RAT e para separar os efeitos da absorção de água na aderência.

Conforme a NBR 13528-3 (ABNT, 2019), os corpos de prova empregados nos ensaios de aderência devem ser circulares e de diâmetro 50 mm. Dessa forma, na terceira etapa as amostras foram moldadas e analisadas nesse formato, além da aplicação do método da fotogrametria, adaptado de Scalco *et al.* (2022), para caracterizar a rugosidade dos blocos cerâmicos.

4.3 TERCEIRA ETAPA

Essa etapa teve como objetivos específicos avaliar a influência dos parâmetros de rugosidade dos blocos cerâmicos, obtidos através da técnica da fotogrametria, e na sequência correlacionar os resultados com a resistência de aderência em exemplares de diâmetro 50 mm, alcançados nos ensaios realizados segundo as especificações da NBR 13528-3 (ABNT, 2019).

4.3.1 Análises dos resultados de resistência de aderência à tração

Aplicou-se o teste Z (Tabela 37), de forma a verificar a igualdade entre as médias de aderência entre as superfícies tratadas com hidrofugante (Ch) e as superfícies onde não foi realizado tratamento superficial (Sh). Os dados completos das RAT dos substratos Ch encontram-se no Apêndice P.

Tabela 37 - Teste Z - RAT - terceira etapa

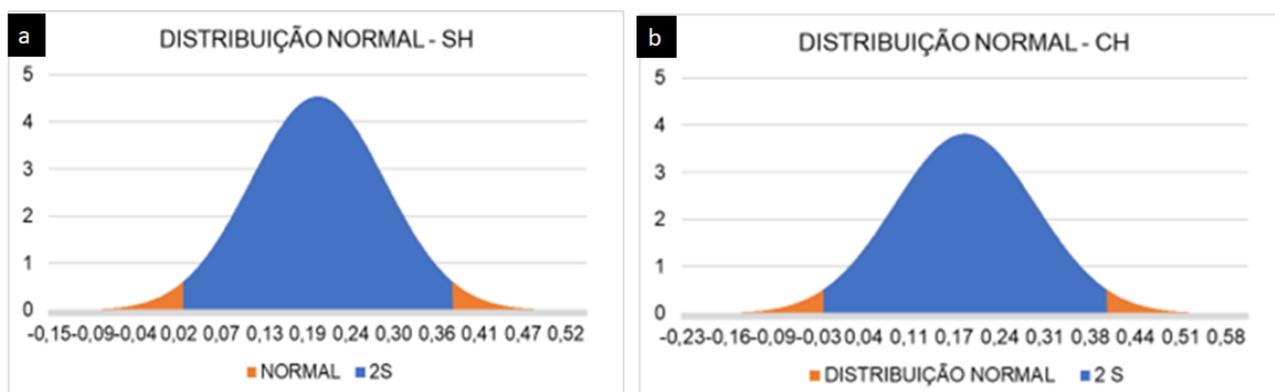
Teste-z: duas amostras para médias		
Dados estatísticos	RAT Sh	RAT Ch
Média	0,20	0,19
Variância conhecida	0,008829	0,01091
Número de amostras	36	41
Hipótese da diferença de média	0	
z	0,30	
P(Z<=z) bicaudal	0,76	
z crítico bicaudal	1,96	

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Verificou-se, ao nível de 5% e Z crítico de 1,96, que os resultados das médias de aderência dos substratos Ch e Sh não são significativamente diferentes. Quanto à análise de variância, as amostras Ch apresentaram maior valor quando comparadas às amostras Sh. Tal fato ocorre em função da variação de rugosidades das amostras analisadas em cada condição de tratamento de superfície dos blocos cerâmicos.

A análise estatística, considerando 2 desvios-padrão, estão apresentadas na Figura 47.

Figura 47 - Distribuição normal e análise de 2 desvios-padrão: a) Sh; b) Ch



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Observou-se, para 2 desvios-padrão, valores superiores a 0,36 MPa para os substratos Ch e 0,38 MPa para a condição Sh e os valores inferiores correspondem a 0,02 MPa para os Ch e 0,03 MPa para os Sh. Contudo, a condição Ch apresentou uma maior variabilidade de RAT. Possivelmente as amostras utilizadas nessas

condições seguiram os parâmetros de rugosidade que influenciaram nesses resultados.

4.3.2 Análises da influência dos parâmetros de rugosidade na aderência

Os dados estatísticos dos parâmetros de rugosidade e respectivas RAT das amostras Ch, obtidos pelo método da fotogrametria, constam da Tabela 38. Os dados completos dos parâmetros de rugosidade obtidos pela fotogrametria consta no Apêndice O. Nessa etapa, foi inserida a rugosidade média (Ra) com a intenção de associá-la à RAT.

Tabela 38 - Dados estatísticos determinados a partir de fotogrametria - Ch

Dados estatísticos	Ra (μm)	Amv (mm^2)	RAT(MPa)
Médias	44,60	0,07	0,19
Erro padrão	4,48	0,01	0,02
Mediana	37,98	0,06	0,17
Desvio-padrão	28,66	0,04	0,10
Variância da amostra	821,64	0,00	0,01
Coeficiente de variação	64%	54%	55%
Intervalo	184,70	0,14	0,48
Mínimo	26,14	0,01	0,02
Máximo	210,84	0,16	0,50
Nível de confiança (95,0%)	9,05	0,01	0,03

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os valores dos coeficientes de variação (54%) foram altos para as áreas médias de vale e rugosidade média (Ra) (64%). As RAT dessas amostras resultaram em um CV de 55%.

Os dados estatísticos das amostras Sh, obtidos pelo método da fotogrametria, constam da Tabela 39.

Tabela 39 - Dados estatísticos determinados a partir de fotogrametria - Sh

Dados estatísticos	Ra (μm)	Amv (mm^2)	RAT(MPa)
Médias	41,44	0,05	0,20
Erro padrão	2,51	0,00	0,02
Mediana	37,62	0,05	0,22
Desvio-padrão	15,04	0,03	0,10
CV	36%	56%	51%
Variância da amostra	226,21	0,00	0,01
Intervalo	89,01	0,10	0,44
Mínimo	26,22	0,01	0,03
Máximo	115,22	0,11	0,47
Nível de confiança (95,0%)	5,09	0,01	0,04

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

O coeficiente de variação (56%) foi alto para as áreas médias de vale e médio para a rugosidade média (36%). As RAT dessas amostras resultaram em um CV de 51%. Observou-se que a variabilidade dos parâmetros de rugosidade impacta nos resultados de aderência, conforme as amostras empregadas nos ensaios.

Assim como na segunda etapa, foi proposta uma classificação dos parâmetros de rugosidade considerando o parâmetro Ra e as áreas médias de vales (Amv). A Tabela 40 mostra os dados obtidos para os substratos Ch. As faixas de Ra foram selecionadas em intervalos de $20\mu\text{m}$.

Tabela 40 - Classes de Ra - Fotogrametria - Ch

Médias de Ra (μm)		N	Amv (mm^2)	DV	CV	Ra (μm)	DV	CV	RAT (MPa)	DV	CV
20	40	25	0,06	0,04	61	33,60	4,50	13	0,16	0,09	58
40	60	12	0,07	0,03	36	48,61	4,37	9	0,22	0,10	45
60	80	3	0,09	0,06	70	64,83	6,72	10	0,32	0,13	42
200	220	1	0,04	-	0	210,84	-	0	0,17	-	0

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Observou-se que as RAT apresentaram maiores coeficientes de variação quando comparadas aos da segunda etapa, consequência da análise realizada em

uma área maior, que exibe uma maior heterogeneidade na superfície dos blocos cerâmicos. O parâmetro de rugosidade média foi representativo para as classes compreendidas entre 20 e 60 μm e Amv entre 0,06 e 0,07 mm^2 . A Tabela 41 mostra os resultados referentes às amostras Sh.

Tabela 41 - Classes de Ra - Fotogrametria - Sh

Médias de Ra (μm)		N	Amv (mm^2)	DV	CV	Ra (μm)	DV	CV	RAT (MPa)	DV	CV
20	40	21	0,05	0,02	51	33,81	3,65	11	0,21	0,11	54
40	60	14	0,06	0,04	57	47,61	5,89	12	0,19	0,09	48
100	120	1	0,08	0,00	0	115,22	0,00	0	0,27	0,00	0

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Verificou-se a rugosidade média representativa para as classes compreendidas entre 20 e 60 μm e Amv entre 0,05 e 0,06 mm^2 . A partir dos dados obtidos dos parâmetros de rugosidade, foi elaborada a matriz de rugosidade. Os resultados, referentes às amostras Ch, estão apresentados na Tabela 42.

Tabela 42 - Matriz de rugosidade - Ch - Amv *versus* Ra - terceira etapa

Amv (mm^2)	Ra (μm)	
	<50 μm	\geq 50 μm
0,04		0,17
0,06	0,16	
0,07	0,22	
0,09		0,32

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A matriz de rugosidade gerada a partir dos parâmetros de rugosidade, obtidos por meio da fotogrametria, apresentou uma tendência de aumento da aderência quando se aumenta o Amv e o Ra. A matriz de rugosidade referente as amostras Sh, consta da Tabela 43.

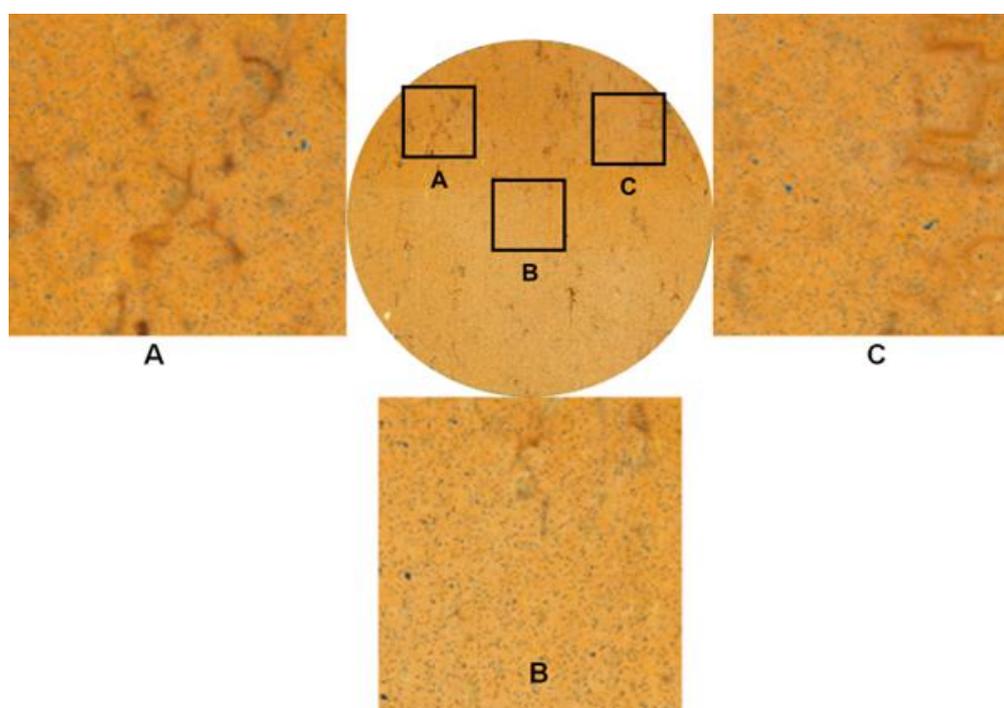
Tabela 43 - Matriz de rugosidade - Sh - versus Rvm - terceira etapa

Amv (mm ²)	Ra (μm)	
	<50μm	≥50μm
0,05	0,21	
0,06	0,19	
0,08		0,27

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

De forma a explicar os maiores coeficientes de variação quando se aumenta a área de análise, inclui-se a Figura 48 que demonstra as diferenças em uma face dos substratos cerâmicos.

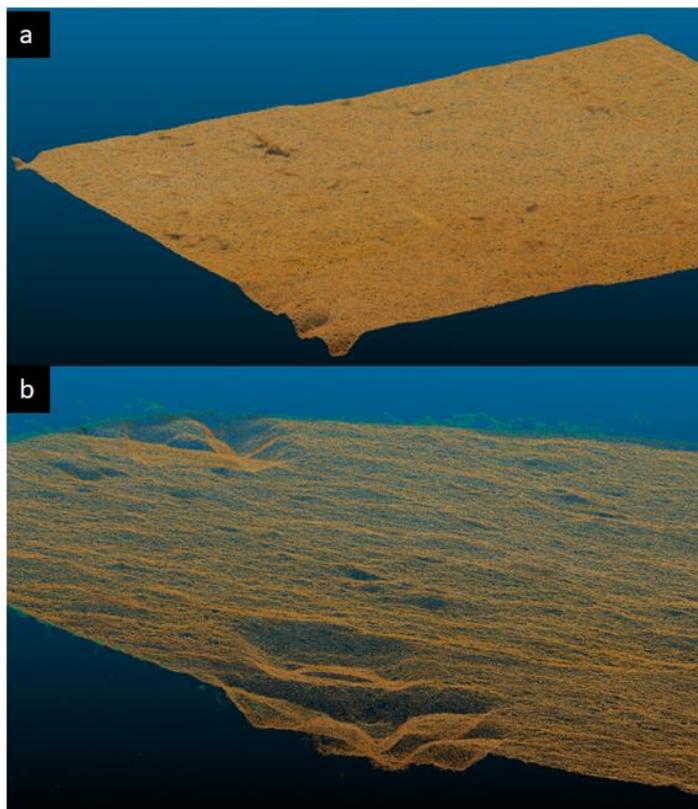
Figura 48 - Heterogeneidade de superfície dos substratos cerâmicos



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir das imagens, é possível verificar a heterogeneidade em uma mesma face de bloco cerâmico, dessa forma é plausível confirmar a alta variabilidade nos dados dos parâmetros de rugosidades obtidos pelo método da fotogrametria. A Figura 49 mostra um perfil 3D da superfície de uma amostra analisada.

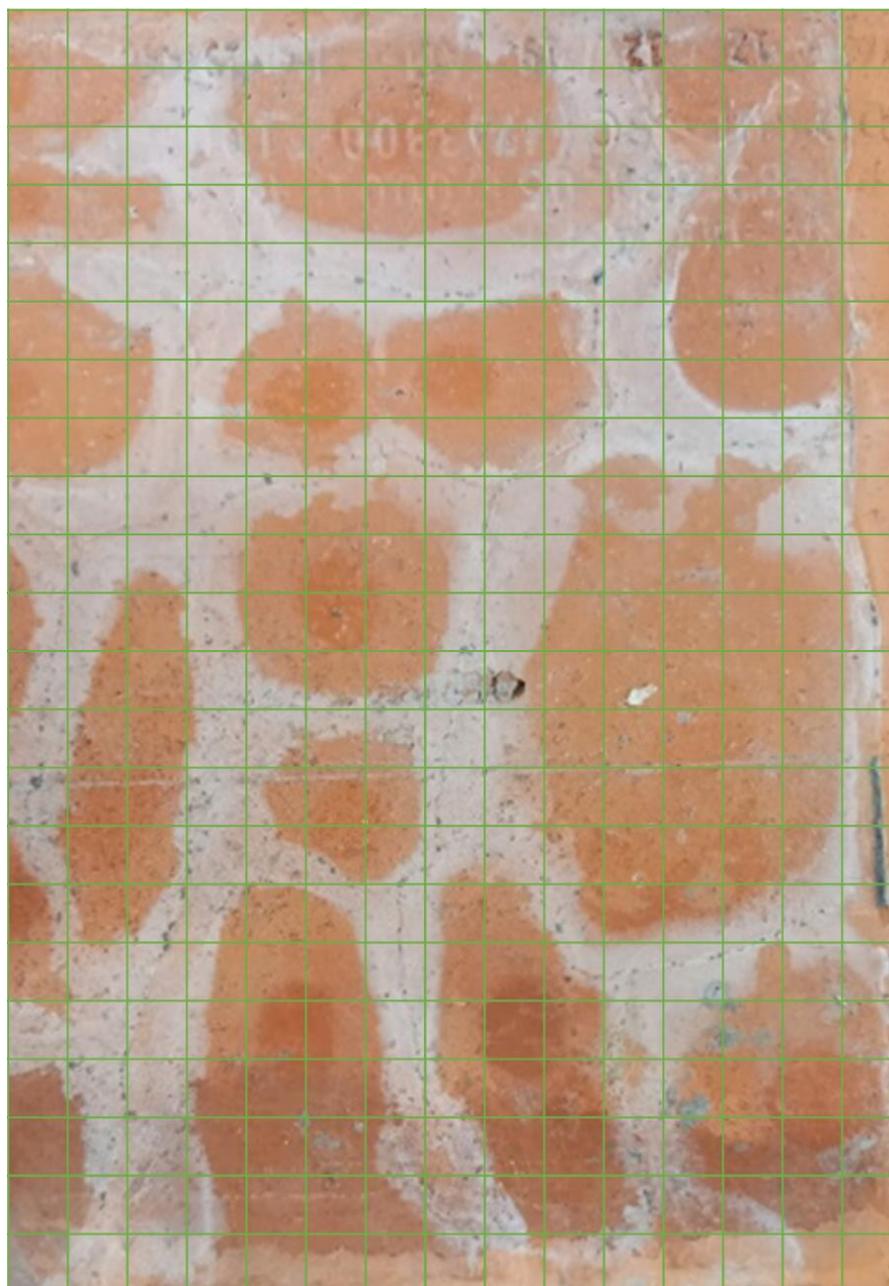
Figura 49 - Perfil 3D obtido pelo método da fotogrametria



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A Figura 49a mostra a heterogeneidade da superfície do bloco cerâmico e a Figura 49b demonstra o perfil 3D gerado a partir da mesma amostra. As diferenças de picos e vales presentes numa mesma superfície de bloco cerâmico ocasionam regiões de movimentação da água para os vales, e assim geram as retrações nas interfaces entre o substrato cerâmico e a matriz cimentícia, e conseqüentemente, a interferência na aderência entre os materiais. A Figura 50 mostra uma face Sh (15x22cm) de bloco cerâmico após a retirada da pasta de cimento e uma simulação de análise em áreas de 10x10 mm.

Figura 50 - Áreas de 10x10 mm em uma mesma superfície de bloco cerâmico - Sh



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

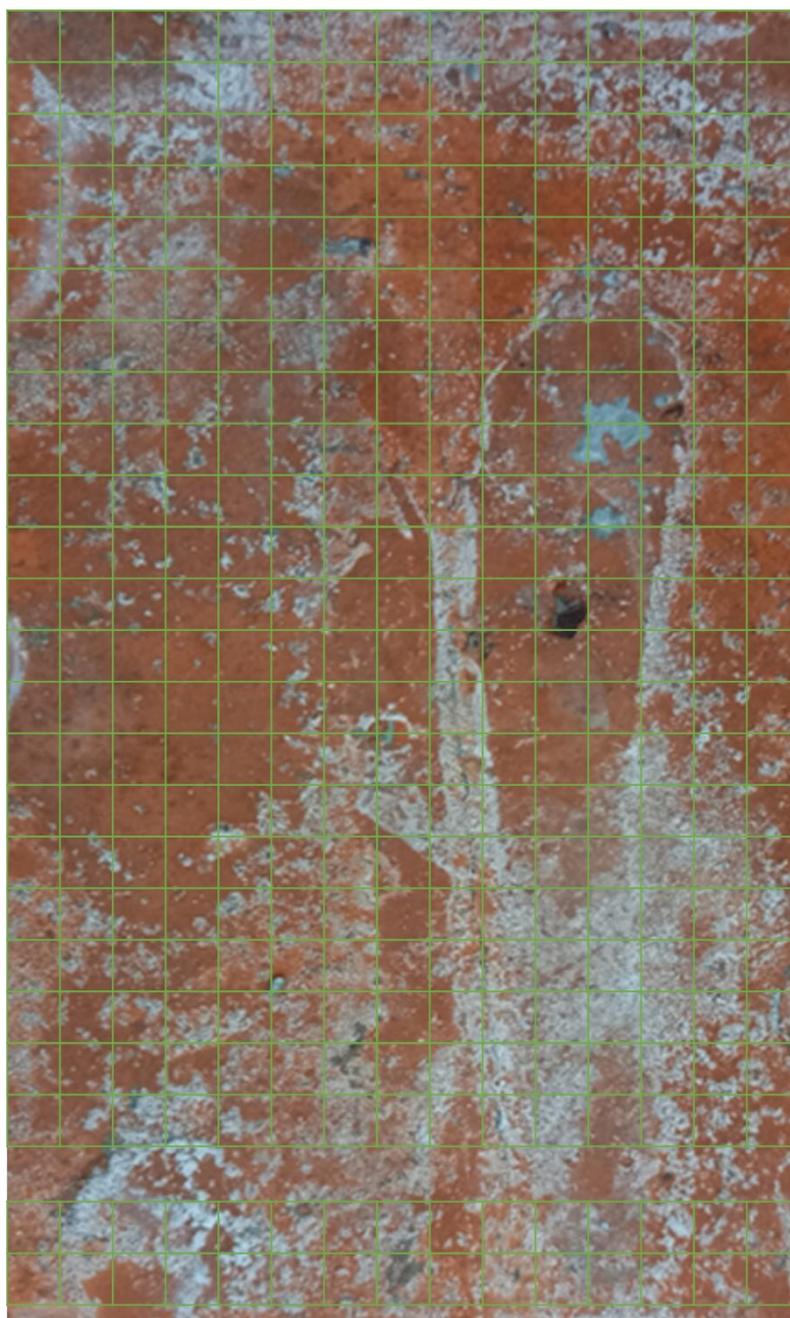
A partir das imagens da Figura 50 é possível afirmar que, dependendo da dimensão e local de análise da área de aplicação de uma mesma argamassa, ocorrerá distintos comportamentos e configurações de contato entre a matriz cimentícia e o substrato cerâmico.

As áreas em vermelho mais escuro são os pontos onde a água foi succionada pelo bloco com maior intensidade. Os pontos de cor branca são as interfaces entre as áreas de influência do processo de movimentação de água que estão associadas

às retrações, ou seja, a água se movimenta gerando diferentes relações água/ligante ao longo da superfície do bloco cerâmico, e dessa forma gera distintos núcleos, tornando a área de contato heterogênea e de composições químicas diferentes, aumentando a variabilidade de aderência.

A Figura 51 mostra uma face Sh (15x22 cm) de bloco cerâmico após a retirada da pasta de cimento e demonstra a simulação de análises em áreas de 10x10 mm.

Figura 51 - Áreas de 10x10 mm em uma mesma superfície de bloco cerâmico - Ch



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir da imagem da Figura 51 foi possível observar que as amostras Ch apresentam uma tendência a expor uma maior uniformidade na área de superfície do bloco cerâmico após a retirada da pasta, mas ainda exibiram formação de núcleos.

Conforme Sano *et al.* (1994), a aderência, quando aferida em áreas maiores, exhibe a tendência de apresentar maiores coeficientes de variação, dada a heterogeneidade do substrato cerâmico, já que foi utilizada a mesma composição de pasta.

Van Noort *et al.* (1991) usaram análises de elementos finitos para demonstrar que as medições de resistência de aderência à tração e ao cisalhamento eram altamente dependentes da geometria dos corpos de prova, da natureza da aplicação da carga, da presença ou ausência de falhas adesivas e dos materiais envolvidos. Os autores sugeriram que a fratura por tração de amostras aderidas poderia ser iniciada a partir de alguns pontos ao redor da circunferência das amostras, coincidente com a posição de concentração de tensão, e então se propagar em direção ao centro.

Devido à não uniformidade da distribuição de tensões interfaciais, principalmente na borda da interface que apresenta as tensões máximas, a probabilidade de defeitos pode dominar a propagação da fratura adesiva (VAN NOORT *et al.*, 1991). Esse tipo de distribuição de tensão pode iniciar fraturas de defeitos, resultando em uma resistência de união à tração relativamente menor ao usar uma área de superfície maior para a união.

A fotogrametria foi aplicada em uma área de 35x35 mm e possibilitou a análise de uma quantidade de 3 a 6 milhões de pontos, porém apresenta uma grande variação de vales, gerando muitas áreas pequenas, dada a quantidade de nodos. A perfilometria a laser realiza a leitura vertical e a fotogrametria em diagonal. Desse modo, foi realizada uma análise comparativa entre os dois métodos e dimensões de áreas de aplicação das pastas.

Outra questão, é o formato de leitura do equipamento. O laser faz varredura uniformemente espaçada, o que facilita a discretização/arranjo dos pontos na matriz. Já a fotogrametria não apresenta esta premissa, pois há foco em reconstrução de superfícies.

4.3.3 Conclusões da terceira etapa

Quanto às conclusões referentes à terceira etapa, salienta-se que à medida que se aumenta a área de análise de RAT, maior será a tendência de heterogeneidade da interface de aderência bloco cerâmico/pastas, assim como ocorre nos revestimentos argamassados. O método adotado na segunda etapa gerou menores coeficientes de variação de RAT, que foram de 29% para as amostras Ch e 19% para as amostras Sh, enquanto para as amostras de diâmetro 50 mm, os CV foram 55% e 51%, respectivamente.

Os parâmetros de rugosidade determinados em blocos cerâmicos apresentam maiores coeficientes de variação quando avaliados em áreas maiores dada a heterogeneidade de superfície desses materiais e tal comportamento decorre das matérias-primas utilizadas e processos empregados na produção desses substratos.

A principal conclusão dessa etapa concorda com Sano *et al.*, (1994), que citam que superfícies menores foram associadas a maiores resistências de união à tração, enquanto áreas de superfícies maiores mostraram menores resistências de união à tração. Para os autores, razões para este fenômeno podem ser devido ao efeito da presença de defeitos e/ou geradores de tensão na interface ou no substrato.

De acordo com a teoria do defeito de Griffith (1920), a resistência de aderência à tração de um material diminui com o aumento do tamanho da amostra. Este resultado pode ser devido à distribuição de defeitos no material, porque uma amostra maior provavelmente contém muito mais defeitos em comparação a exemplares menores.

5 CONCLUSÃO

As conclusões foram alinhadas com os objetivos específicos do trabalho e disponibilizadas na mesma ordem.

A perfilometria a laser permitiu quantificar e classificar a diferença de rugosidades na superfície de distintos substratos de blocos cerâmicos. No entanto, essa técnica possibilita aferir 10000 pontos que correspondem, com a resolução necessária, a uma área de 10x10mm. Os substratos cerâmicos demonstraram diferenças de rugosidades numa mesma face de bloco cerâmico, entre os blocos de uma mesma olaria e distintas olarias. Foram propostas cinco classes de classificação para os parâmetros de rugosidade que permitiram evidenciar as diferenças de rugosidades entre os diferentes substratos de cinco olarias.

Foi desenvolvido um método experimental para análise da aderência em áreas de 10x10mm conforme proposto por Sano *et al* (1994). O método da microtração possibilitou determinar a resistência de aderência à tração (RAT) em áreas de 10x10mm que se mostrou eficiente em diferenciar os valores de aderência entre as diferentes olarias e evidenciar a influência de diferentes rugosidades de blocos cerâmicos entre os diferentes substratos de cinco olarias.

A matriz de rugosidade, proposta neste estudo, demonstrou que Rvm menores que 2 μm beneficiam a RAT quando esses substratos apresentam áreas médias de vales até 0,11 mm^2 . Contudo, Rvm superiores a 2 μm prejudicam a RAT quando a Amv é menor que 0,17 mm^2 . Assim, foi possível validar os parâmetros de rugosidade Amv (áreas médias de vales) e Rvm (profundidade média de vales) propostos por Tonietto *et al.* (2022).

As Ra da terceira etapa possibilitaram classificar a rugosidade dos diferentes substratos cerâmicos e correlacioná-los às diferenças de resultados de resistência de aderência à tração entre os blocos de uma mesma olaria e distintas olarias.

Foram realizadas diferentes análises estatísticas, que permitiram demonstrar a influência de diferentes rugosidades de substratos cerâmicos na RAT da pasta de cimento Portland, além de avaliar a dispersão da resistência de aderência à tração em um mesmo substrato, proveniente de um mesmo lote.

Ao comparar os resultados de resistência de aderência à tração de uma pasta de cimento aplicada sobre substratos cerâmicos com e sem hidrofugantes, verificou-se que a condição com hidrofugante beneficiou a aderência, uma vez que a média

das RAT apresentaram valores superiores quando comparados aos das amostras e sem hidrofugante.

A partir de ensaios em diferentes escalas e diferentes áreas de interface, foi possível avaliar a variabilidade da resistência de aderência à tração em um mesmo substrato e proveniente de um mesmo lote. Essa variabilidade observada na resistência de aderência em grande parte é decorrente da heterogeneidade dos substratos através dos parâmetros de rugosidade. Quando a resistência a tração entre uma matriz cimentícia e o substrato é determinada em uma área de 10x10 mm, se obtém menor variabilidade e maior resistência do que quando ela é determinada conforme a NBR 13528-3 (ABNT, 2019), numa área substancialmente maior.

A técnica de fotogrametria possibilitou a caracterização da rugosidade em uma área maior que 10x10mm e demonstrou a heterogeneidade dos substratos cerâmicos e permitiu associar os parâmetros de rugosidade à resistência de aderência à tração e concluir que o aumento de área de vales (A_{mv}) e altura média de picos e vales (R_a) beneficiam a aderência entre substratos cerâmicos e pastas de cimento.

Desta forma, esse trabalho contribui com as pesquisas sobre aderência de revestimentos de argamassas, pois quantificou a influência dos parâmetros de rugosidade de blocos cerâmicos e da área de interface na aderência de revestimento cimentício e blocos cerâmicos.

6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- Identificar a influência do uso de diferentes métodos na determinação quantitativa da rugosidade de substratos cerâmicos;
- Utilizar pastas com diferentes propriedades aplicadas sobre distintas rugosidades de blocos cerâmicos para verificar a influência na aderência;
- Empregar técnicas não utilizadas neste estudo, como, por exemplo, a microtomografia e a microscopia de absorção por força atômica, para explicar os mecanismos da aderência entre os substratos cerâmicos e revestimentos;
- Quantificar e associar áreas de fissuras e imperfeições de blocos cerâmicos com a aderência;
- Definir a técnica, escalas e números de amostra a serem utilizados nos estudos de caracterização dos substratos cerâmicos e áreas de interface formadas entre estes e revestimentos cimentícios.

REFERÊNCIAS

- AHMED, M. F.; HAAS, C. T. The potential of low cost close range photogrammetry towards unified automatic pavement distress surveying. *In: ANNUAL MEETING OF THE TRANSPORTATION RESEARCH BOARD*, 89., 2010. **Proceedings [...]**. Washington, DC, 2010. p. 11-15.
- AL-NADDAF, M. A new automatic method for continuous measurement of the capillary water absorption of building materials. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 160, p. 639-643, 2018.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318**: building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary. Farmington Hills, MI: Committee 318, 2008. 471 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D3080**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. Philadelphia, 2011.
- ANTUNES, R. P. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 2005. Tese (Doutorado) -- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ARAÚJO JR., J.M. **Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento**. 2004. Dissertação (Mestrado) --Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.
- ARNOLD, D. C. M. **Contribuição ao estudo dos fatores intervenientes na aderência de revestimentos de argamassa**: análise quantitativa da rugosidade de substratos cerâmicos. 2021. Tese (Doutorado), Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo, 2021.
- ARNOLD, D. C. M. *et al.* A critical analysis of red ceramic blocks roughness estimation by 2d and 3d methods. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 13. n. 4, 789, 2021.
- 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, 2005.
- 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, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos– Requisitos. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13528-3**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 3: Aderência superficial. Rio de Janeiro, 2019.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

BARBOSA, W. S. **Alteração do comportamento reológico da suspensão cimentícia aplicada a substratos porosos**. 2010. Dissertação (Mestrado) -- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

BARBOSA, W. S.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Alteração do comportamento reológico de pastas devido à presença de base porosa. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009. **Anais [...]**. Curitiba, PR, 2009.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An introduction to rheology**. 3rd. ed. Amsterdam: Elsevier, 1993. 199 p.

BARRETO, M. F. O. **Caracterização micro-nanoestrutural e química de argamassas de cimento Portland**. 2014. Tese (Doutorado) --Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.

BAUER, E. **Revestimentos de argamassa - características e peculiaridades**. Brasília, DF: LEM-UnB; Sinduscon, 2005.

BAUER, E.; FEITOSA, C. P.; RODRIGUES FILHO, H.; ALMEIDA, P. O. Análise das argamassas de revestimento (industrializadas e usinadas), empregadas em obras do Distrito Federal, quanto aos requisitos e ao desempenho. *In*: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGÍA Y RECUPERACIÓN DE ESTRUTURAS (CINPAR), 9., 2013, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa, 2013.

BELAUD, V.; VALETTE, S.; STREMSDOERFER, G.; BIGERELLE, M.; BENAYOUN, S. Wettability versus roughness: multi-scales approach. **Tribology International**, [S. l.], v. 82, p. 343-349, Feb. 2014.

BELLEI, P.; ARROMBA, J.; FLORES-COLEN, I.; VEIGA, R.; TORRES, I. Influence of brick and concrete substrates on the performance of renders using in-situ testing techniques. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], n. 43, p. 102871, 2021.

BETIOLI, A. M.; JOHN, V. M.; GLEIZE, P. J. P.; PILEGGI, R. G. Caracterização reológica de pasta cimentícia: associação de técnicas complementares. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, n. 9, 37-48, 2009.

BISSONNETTE, B.; COURARD, L.; GARBACZ, A.; VAYSBURD, A. M.; VON FAY, K. F. **Development of specifications and performance criteria for surface preparation based on issues related to bond strength**. [S. l.]: Bureau of Reclamation Research and Development Office. 2017.

BOUKHATEM, B.; KENAI, S.; HAMOU, A. T.; ZIOU, D.; GHRICI, M. Predicting concrete properties using neural networks (NN) with principal component analysis (PCA) technique. **Computers & Concrete**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. 557-573, 2012.

BRITISH STANDARD INSTITUTE (BSi). **BS 8110-1** - structural use of concrete. Part 1: code of practice for design and construction. London: British Standard Institute, London, 1997.

CAMPOS, M. O. **Estudo da resistência de aderência à tração e ao cisalhamento de revestimentos de argamassa em substratos de concreto**. 2014. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (CSA). **CAN/CSA A23.3** - design of concrete structures - structures design. Ontario: Canadian Standards Association, 2004. 258 p.

CARASEK, H. Patologia das argamassas de revestimento. *In*: CARASEK, H. **Materiais de construção e princípios de ciência em engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007. v. 1.

CARASEK, H. "Argamassas". *In*: ISAIAS, G. C. (ed.). **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 892-944.

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. Tese (Doutorado) -- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

CARASEK, H.; JAPIASSÚ, P.; CASCUDO, O.; VELOSA, A. Bond between 19th Century lime mortars and glazed ceramic tiles. **Construction & Building Materials**, [S. l.], v. 59, p. 85-98, 2014.

CARVALHO JR., A. N. **avaliação da aderência dos revestimentos argamassados**: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico. 2005. Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

CASALI, J. M. **Estudo da interação entre argamassa de assentamento e bloco de concreto para alvenaria estrutural**: transporte de água e aderência. 2008. Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

CASSIE, A. B. D.; BAXTER, S. Wettability of porous surfaces. **Transactions of the Faraday Society**, [S. l.], n. 40, p. 546, 1944.

CHASE, G. W. Investigation of interface between brick and mortar. **TMS J.**, [S. l.], v. 3, n. 2, 1984.

CHRISPIM, Z. M. P.; ALMEIDA, L. L. P.; ALVES, M. G.; RAMOS, I. S. SILVA, A. L. C. Caracterização de solos residuais da região de Campos dos Goytacazes/ RJ para uso de engobes em cerâmica artística. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS - CBECiMat, 19., 2010, Campos do Jordão. **Anais eletrônicos [...]**. [S. l.], 2010.

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

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON. Secretariat Permanent. **CEB-FIP Model Code 1990 for concrete structures**. Lausanne: CEB/FIP, 1990. 437 p.

COSTA, C.; CARVALHO, P. A.; BORDADO, J. C.; NUNES, A. Estudo de argamassas de base cimentícia por microscopia electrónica de varrimento. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Lisboa, v. 21, n. 3/4, p. 31-35, 2009.

COSTA, E. B. C. **Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias**. 2014. Tese (Doutorado) -- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

COSTA, E. B. C.; KUROKAWA, F. A.; JOHN, V. M. A simplified model to estimate the penetration potential of particles in porous substrates. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, p. 25-34, 2013.

COSTA, E. B. C.; CARASEK, H. Influência dos parâmetros de ensaio na determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 17-35, out./dez. 2009.

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.

COURARD, L. Parametric study for the creation of the interface between concrete and repair products. **Mat. Struct.** [S. l.], n. 33, p. 65–72, 2000.

DÉTRICHÉ, C. H.; MASO, J. C. Differential hydration in rendering mortars. **Cement and concrete research**, [S. l.], v. 16, n. 3, p. 429-439, 1986.

DUPIN, I.; DETRICHÉ, C.H.; MASO, J.C. Accrochage direct d'un enduit sur un isolant par une liaison de type mécanique dans le cadre d'un procédé d'isolation par l'extérieur. **Matériaux et Constructions**, [S. l.], v. 21, p. 370-378, 1988.

EBNESAJJAD, S. **Handbook of adhesives and surface preparation**: technology, applications and manufacturing. [S. l.]: William Andrew, 2010.

EK, R. K.; RÄNNAR, L.; BÄCKSTÖM, M.; CARLSSON, P. The effect of EBM process parameters upon surface roughness. **Rapid Prototyping Journal**, [S. l.], v. 22, p. 495-503, 2016.

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**. 2014. Dissertação (Mestrado) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo, 2014.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 771-1** - specification for masonry units - part 1: clay masonry units. [S. l.]: European Committee for Standardization, 2011.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1992-1-1** - Eurocode 2 - design of concrete structures - part 1-1: general rules and rules for buildings. [S. l.]: European Committee for Standardization, 2004, 225 p. (with corrigendum dated of 16 January 2008).

FARIAS, J. M. **Comparação, in vitro, da hidrofiliçidade de superfície em seis tipos de implantes usados em medicina dentária**. 2017. Dissertação (Mestrado) -- Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.

FARRAN, J. Contribution minéralogique à l'étude de l'adhérence entre les constituants hydratés des ciments et les matériaux enrobés. **Revue Des Matériaux de Construction**, Toulouse, p. 490-491. 1956.

FELICETTI, M. A. **Determinação da força de adesão entre partículas e uma superfície aplicando a técnica centrífuga**. 2004. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; BRANCO, F. In situ adherence evaluation of coating materials. **Experimental Techniques**, [S. l.], v. 33, n. 3, p. 51–60, May, 2009.

FURUKAWA, Y.; HERNÁNDEZ, C. Multi-view stereo: a tutorial. **Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision**, [S. l.], v. 9, n. 1-2, p. 1-148, 2015.

GALLEGOS, H. Adhesion entre el mortero y las unidades de albañilería. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, I, 1995, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: UFG/ANTAC, 1995. p. 117-133.

GARBACZ, A.; COURARD, L.; BISSONNETTE, B. Surface engineering approach applicable to concrete repair engineering. **Bulletin of the polish Academy of Sciences Technical Sciences**, [S. l.], v. 61, n. 1, 2013.

GARBACZ, A.; COURARD, L.; KOSTANA, K. Characterization of concrete surface roughness and its relation to adhesion in repair systems. **Materials Characterization**, [S. l.], n. 56, p. 281-289, 2006.

GHANEM, A.; LANG, Y. **Introduction to polymer adhesion**. [S. l.], 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319098070_Introduction_to_polymer_adhesion. Acesso em: 20 set. 2019.

GOESELE, M.; SNAVELY, N.; CURLESS, B.; HOPPE, H.; SEITZ, S. M. Multi-view stereo for community photo collections. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER VISION, 11., 2007. **Anais [...]**. [S. l.], IEEE, 2007. p. 1-8.

GOMES, C. F. **Argilas: o que são e para que servem**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1988. 475 p.

GONÇALVES, S. R. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa: estudo de caso**. 2004. Dissertação (Mestrado) -- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

GRANDET, J. **Contribution à l'étude de la liaison entre la pâte de ciment Portland et les terres cuites**. 1971. Thèse (Doctorat) -- Université Toulouse III – Paul Sabatier, Toulouse, 1971.

GRIFFITH, A. A. The phenomena of rupture and flow in solids. **Royal Soc.**, London, v. 221, 1920.

GRIGORIADIS, K. Use of laser interferometry for measuring concrete substrate roughness in patch repairs. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 64, p. 27-35, Apr. 2016.

GROOT, C. J. W. P. The characteristics of brick and mortar considering mortar/brick bond. *In*: INTERNATIONAL BRICK/BLOCK MASONRY CONFERENCE, 11., 1997, Shanghai. **Proceedings [...]**. Shanghai: Tongji University, 1997. p. 50-58.

GURAU, L.; PETRU, A.; VARODI, A.; TIMAR, M. C. The influence of CO2 laser beam power output and scanning speed on surface roughness and colour changes of beech (*Fagus sylvatica*). **Bio Resources**, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 7395-7412, 2017.

HAMEED, M. M.; ALOMAR, M. K.; BANIIYA, W. J.; ALSAADI, M. A. Incorporation of artificial neural network with principal component analysis and cross-validation technique to predict high-performance concrete compressive strength. **Asian J Civ Eng**, [S. l.], n. 22, p. 1019-1031, 2021.

HOLT, E. E. **Early age autogenous shrinkage of concrete**. Finland: Technical Research Centre of Finland, 2001. 184 p. (VTT publications, 446).

HONÓRIO, T.; CARASEK, H. Influência da absorção de água do substrato na resistência superficial de revestimentos de argamassa. *In*: CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 3., 2010, Lisboa. **Anais [...]**. Lisboa, 2010.

HU, J.; STROEVEN, P. Properties of the interfacial transition zone in model concrete. **Interface Science**, [S. l.], n. 12, p. 389-397, 2004.

IMDAKM, A.; SAHIMI, M. Transport of large particles in flow through porous media. **Physical Review A**, [S. l.], v. 36, n. 11, p. 5304–5309, 1987.

JENSEN, O. M.; HANSEN, P. F. Autogenous deformation and RH-Change in perspective. **Cement and Concrete Research**, [S. l.], 31, 1859-1865, 2001.

KAZMIERCZAK, C. S.; BREZEZINSKI, D. E; COLLATO, D. Influência do substrato na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. **Estudos Tecnológicos**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 47-48, jan./jun. 2007.

KENDALL, K. **Molecular adhesion and its applications**: the sticky universe. [S. l.]: Kluwer Academic/Plenum, 2001.

KIEFER, T.; FÜSSL, J.; KARIEM, H.; KONNERTH, J.; GAGGL, W.; HELLMICH, C. A multi-scale material model for the estimation of the transversely isotropic thermal conductivity tensor offired clay bricks. **Journal of the European Ceramic Society**, [S. l.], v. 40, p. 6200–6217, Dec. 2020.

KRAKOWIAK, K. J.; LOURENÇO, P. B.; ULM, F. J. Multitechnique investigation of extruded clay brick microstructure. *Journal of the American Ceramic Society*, [S. l.], v. 94, p. 3012–3022, 2011.

KUBIAK, K. J.; MATHIA, T. G. Anisotropic wetting of hydrophobic and hydrophilic surfaces—modelling by Lattice Boltzmann method. *Procedia Engineering*, [S. l.], v. 79, p. 45-48, 2014.

KUBIAK, K. J.; MATHIA, T. G.; WILSON, M. C. T. Methodology for metrology of wettability *versus* roughness of engineering surfaces. *In: INTERNATIONAL CONGRESS OF METROLOGY, 14., 2009, Paris. Proceedings [...]*. Paris, 2009.

LANGE, D. A.; DEFORD, H. D.; ALMED, A. Microstructure and mechanisms of bond in masonry. *In: NORTH AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 7, 1996, Indiana. Proceedings [...]*. Indiana: University of Notre Dame, 1996. p. 167-174.

LAWRENCE, S. J.; CAO, H. T. An experimental study of the interface between brick and mortar. *In: AMERICAN MASONRY CONFERENCE, 4th, 1987, Los Angeles. Proceedings [...]*. Los Angeles, 1987. p. 48/1-48/14.

LE ROUX, S.; DESCHAUX-BEAUME, F.; CUTARD, T.; LOURS, P. Quantitative assessment of the interfacial roughness in multi-Layered materials using image analysis: Application to oxidation in ceramic-based materials. *Journal of the European Ceramic Society*, [S. l.], v. 35, n. 3, p.1063-1079, 2015.

LIN, T. A comparative study between smaller-the-better and normal-the-best quality characteristics when lapping ceramic blocks. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, [S. l.], v. 31, p. 155-163, Apr. 2006.

LIU, Z.; QIAN, S.; WANG, Y.; YAN, Y.; YANG, T. Schrödinger principal-component analysis: On the duality between principal-component analysis and the Schrödinger equation. *Physical Review E*, [S. l.], v. 104, n. 2, p. 025307, 2021.

MA, Z.; ZHANG, W.; GAO, J.; LI L.; KRISHNASWAMY, S. Characterization of the interface roughness of coatings based on ultrasonic reflection coefficient amplitude spectrum, *AIP Conference Proceedings*, [S. l.], v.1806, 090021, 2017.

MACIEL, M. H. **Influência do ligante pré-hidratado nas propriedades de suspensões de cimento Portland**. 2017. Dissertação (Mestrado) -- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

MAIA, F. D. S. **Avaliação de massas cerâmicas, processamento e propriedades dos produtos de cerâmica vermelha do pólo cerâmico de campos dos Goytacazes**. 2012. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes–RJ, 2012.

MANSUR, A. A. P. **Mecanismos físico-químicos de aderência na interface argamassa modificada com polímeros/cerâmica de revestimento**. 2007. Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MASUERO, A. B. **Metodologia de avaliação de desempenho dos sistemas destinados de a pontes de aderência entre concreto fresco e endurecido**. 1993.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

MOREAU, N.; ROUDET, C.; GENTIL, C. Study and comparison of surface roughness measurements. **Journées du Groupe de Travail en Modélisation Géométrique**, [S. l.], Sept. 2014.

MYSHKIN, N. K.; PETROKOVETS, M. I.; CHIZHIK, S. A. Simulation of real contact in tribology. **Tribology International**, [S. l.], v. 31, n. 1-3, p. 79-86, 1998.

NABAIS, J. M. A. **Avaliação da aderência ao suporte de rebocos de terra**. 2015. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

NONAT, A.; MUTINX, J. C.; LECOQS, X. JIANG, S. P. Physico-chemical parameters determining hydration and particle interactions during the setting of silicate cements. **Solid State Ionics**, [S. l.], v. 101-103, pt. 2, p. 923-930, Nov. 1997.

NORMANDO, D.; TJÄDERHANE, L.; QUINTÃO, C. C. A. A escolha do teste estatístico-um tutorial em forma de apresentação em PowerPoint. **Dental Press Journal of Orthodontics**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 101-106, 2010.

OLIVEIRA, V. C. D. **Estudo comportamental da formulação, dos requisitos, e das propriedades das argamassas estabilizadas de revestimento**. 2017. Dissertação (Mestrado) -- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

PACKHAM, D. E. Theories of fundamental adhesion. *In*: SILVA, L. F. M.; ÖCHSNER, A.; ADAMS, R. D. (ed.). **Handbook of adhesion technology**. Berlin: Springer, 2017.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. 2004. Tese (Doutorado) -- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2004.

PAES, I. N.; BAUER, E.; CARASEK, H.; PAVÓN, E. Influencia del transporte de agua en morteros de revestimiento, en la resistencia a la adherencia. **Revista Ingeniería de Construcción**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 175-186, 2014.

PAGNUSSAT, D. T. **Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa**. 2013. Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

PALMER, L. A.; PARSONS, D. A. A study of the properties of mortars and bricks and their relation to bond. **Bureau of Standards Journal of Research**, [S. l.], n. 12, p. 609-644, 1934.

PAVÍA, S.; HANLEY, R. Flexural bond strength of natural hydraulic lime mortar and clay brick. **Mater Struct**, [S. l.], n. 43, p. 913-22, 2010.

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa**. 2007. Tese (Doutorado) -- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2007.

PEREIRA, L. **Revestimento interno de argamassa em alvenaria com blocos cerâmicos**: verificação da aderência com e sem o uso de chapisco. 2014. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

PEREZ, F.; BISSONNETTE, B.; COURARD, L. Combination of mechanical and optical profilometry techniques for concrete surface roughness characterization. **Magazine of Concrete Research**, [S. l.], v. 61, p. 389-400, Aug. 2009.

PHAN, V. **Relationship between the adhesive properties and the rheological behavior of fresh mortars**. Cachan: École normale supérieure de Cachan (ENS), 2012.

PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA J. N. F. Efeito da temperatura de queima em algumas propriedades mecânicas de cerâmica vermelha. **Cerâmica**, [S. l.], n. 56, p. 237-243, 2010.

POLITO, G. **Avaliação do perfil de penetração dos compostos hidratados do aglomerante de argamassas aplicadas sobre bloco cerâmico através de análises químicas, microestruturais, mineralógicas e de resistência de aderência**. 2013. Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

POUR, M. Simultaneous application of time series analysis and wavelet transform for determining surface roughness of the ground workpieces. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, [S. l.], n. 85, p. 1793-1805, July 2016.

RAMACHANDRAN, V. S. **Concrete admixtures handbook**: properties, science and technology. [S. l.]: William Andrew, 1996.

RATO, V. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas**. 2006. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, PT, 2006.

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

ROSEN, M. J. **Surfactants and interfacial phenomena**. New York: John Wiley, 1978. 304 p.

SAAK, A. W.; JENNINGS, H. M.; SHAH, S. P. The influence of wall slip on yield stress and viscoelastic measurements of cement paste. **Cement and Concrete Research**, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 205-212, Feb. 2001.

SADOWSKI, L. Multi-scale evaluation of the interphase zone between the overlay and concrete substrate: methods and descriptors. **Appl. Sci.** [S. l.], n. 7, p. 893, 2017.

SADOWSKI, Ł.; HOŁA, J.; CZARNECKI, S. Non-destructive neural identification of the bond between concrete layers in existing elements. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 127, p. 49-58, 2016.

SADOWSKI, L.; MATHIA, L. G. Multi-scale metrology of concrete surface morphology: fundamentals and specificity. **Construction and Building Materials**, [S. l.], n. 113, p. 613–621, 2016.

SANO, H. *et al.* Relationship between surface area for adhesion and tensile bond strength-evaluation of a micro-tensile bond test. **Dental Materials**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 236-240, 1994.

SANT, G.; FERRARIS, C. F.; WEISS, J. Rheological properties of cement pastes: a discussion of structure formation and mechanical property development. **Cement and Concrete Research**, [S. l.], v. 38, n. 11, p. 1286-1296, Nov. 2008.

SANTOS, L. C. P. **Análise de rugosidade e energia superficial de amostra fabricada por manufatura aditiva visando aplicação em implantes dentários**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

SANTOS, P. M. D. **Assessment of the shear strength between concrete layers**. 2009. Tese (Doutorado) -- Universidade de Coimbra, Coimbra, 2009.

SANTOS, P. M. D.; JÚLIO, E. N. B. S. A state-of-the-art review on roughness quantification methods for concrete surfaces. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 38, p. 912-923, Jan. 2013.

SASSONI, E. *et al.* Influence of mechanical properties, anisotropy, surface roughness and porosity of brick on FRP debonding force. **Composites Part B: engineering**, [S. l.], v. 108, 257-269, Jan. 2017.

SATAPATHY, S. C. *et al.* Particle swarm optimized multiple regression linear model for data classification. **Applied Soft Computing**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 470-476, 2009.

SATAPATHY, S. C.; KUMAR, M.; RATH, S. K. Fuzzy-class point approach for software effort estimation using various adaptive regression methods. **CSI Transactions on ICT**, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 367-380, 2013.

SAUVAGE, J. B. **Caractérisation et modélisation de l'adhérence dans les assemblages collés**. 2016. Thèse. Génie chimique. Université de Haute Alsace, Mulhouse, Français. 2016.

SCALCO, L.; TONIETTO, L.; VELLOSO, R. Q.; RACOLTE, G.; GONZAGA, L.; VERONEZ, M. R. Determination of roughness coefficient in 3D digital representations of rocks. **Sci Rep** 12, [S. l.], p. 10822, 2022.

SCARTEZINI, L. M. B. **Influência do tipo e do preparo do substrato na aderência de revestimentos de argamassa**: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca. 2002. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

SCHULTZ, J.; NARDIN, M. Theories and mechanisms of adhesion. *In*: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. (ed.). **Handbook of adhesive technology, revised and expanded**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2003.

SCRIVENER, K. L.; CRUMBIE, A. K.; LAUGESEN, P. The Interfacial Transition Zone (ITZ) between cement paste and aggregate in concrete. **Interface Science**, [S. l.], n. 12, p. 411-421, 2004.

SCRIVENER, K. L.; JUILLA, P.; MONTEIRO, P. J. M. Advances in understanding hydration of Portland cement. **Cement and Concrete Research**, [S. l.], n. 78, p. 38-56, 2015.

SCRIVENER, K. L. **The development of microstructure during the hydration of cement**. 1984. PhD (Thesis) -- University of London, 1984.

SILFWERBRAND, J. Shear bond strength in repaired concrete structures. **Materials and Structures**, [S. l.], v. 36, n. 6, p. 419-424, 2003.

SILFWERBRAND, J.; BEUSHAUSEN, H.; COURARD, L B. **Bonded cement-based material overlays for the repair, the lining or the strengthening of slabs or pavements**. Dordrecht: Springer, 2011. p. 51-79.

SILVA, C. M.; FLORES-COLEN, I.; GASPAS, S. Numerical analysis of renders' adhesion using an interface model. **Construction and Building Materials**, [S. l.], v. 38, p. 292-305, 2013.

SILVA, V. S. **Aderência de chapiscos em concretos estruturais - melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica da casca de arroz**. 2004. Tese (Doutorado) -- Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

STOLZ, C. M. **Análise dos principais parâmetros que influenciam na área de contato substrato/argamassa de revestimento**. 2015. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

STOLZ, C. M. **Influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento**. 2011. Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

SUGO, H. O. **Strength and microstructural characteristics of brick/mortar bond**. 2000. Thesis (Doctor) -- University of Newcastle, Australia, 2000.

TAHA, M. M.; EL-DIEB, A. S.; SHRIVE, N. G. Sorptivity: a reliable measurement for surface absorption of masonry brick units. **Materials and Structures**, [S. l.], v. 34, n. 7, p. 438-445, 2001.

TANUE, N. F.; FABIAN, T.; DIDIER, F.; GILBERT, T. Characterisation of early age deformations in cement paste: case of chemical and autogenous shrinkage. **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 223-239, 2020.

TATTERSALL, G. H.; BANFILL, P. F. G. **The rheology of fresh concrete**. London: Pitman, 1983.

TAVARES, J. M. R. S. **Indicação dos estados de superfície**. Apostila do Curso Concepção e Fabrico Assistidos por Computador. Porto, PT: Universidade do Porto,

2012. Disponível em: <https://web.fe.up.pt/> ensino > CFAC-G > Downloads > Apontamentos>. Acesso em: 24 set. 2019.

TONIETTO, L. *et al.* Method for evaluating roughness and valley areas coefficients of surfaces acquired by laser scanner. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 12, p. 1486, 2022.

TONIETTO, L. **Um novo método para avaliar os coeficientes de rugosidade e áreas de vale de superfícies adquiridas por scanner a laser**. 2021. Tese (Doutorado) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo, 2021.

TONIETTO, L.; GONZAGA JR., L.; VERONEZ, M. R.; KAZMIERCZAK, C. S.; ARNOLD, D. C. M.; COSTA, C. A. New method for evaluating surface roughness parameters acquired by laser scanning. **Nature Research Scientific Reports**, [S. l.], 2019.

TORRES, I.; VEIGA, R.; FREITAS, V. Influence of substrate characteristics on behavior of applied mortar. **Journal of Materials in Civil Engineering**, [S. l.], v. 30, n. 10, p. 04018254, 2018.

VALENTINI, P. **Influência da absorção de água e rugosidade de substratos cerâmicos e da adição de fíler na aderência de argamassas de revestimento**. 2018. Dissertação (Mestrado) -- Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

VAN NOORT, R.; CARDEW, G. E.; HOWARD, I. C.; NOROOZI, S. The effect of local interfacial geometry on the measurement of the tensile bond strength to dentin. **Journal of Dental Research**, [S. l.], v. 70, n. 5, p. 889-893, 1991.

VAZ, F. H. B.; CARASEK, H. Resistência de aderência de revestimentos de argamassa - contribuição por meio de mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema. **Cerâmica**, [S. l.], n. 65, p. 303-318, 2019.

VOSS, W. C. Permeability of brick masonry walls - a hypothesis. **ASTM Proc**, [S. l.], n. 33, p. 670-691, 1933.

WILLIAMS, J. A. **Engineering tribology**. Oxford: Oxford University, 2005.

WINNEFELD, F.; KAUFMANN, J.; HACK, E.; HARZER, S.; WETZEL, A.; ZURBRIGGEN, R. Moisture induced length changes of tile adhesive mortars and their impact on adhesion strength. **Constr Build Mater**, [S. l.], v. 30, n. 13, p. 426-438, 2012.

WU, S. **Polymer interface and adhesion**. New York: M. Dekker, 1982.

YATES, M.; MARTIN-LUENGO, M. A.; CORNEJO, J.; GONZÁLES, V. The importance of the porosity of mortars, tiles and bricks in relation to their bonding strengths. **Studies in Surface Science and Catalysis**, [S. l.], v. 87, p. 781-790, 1994.

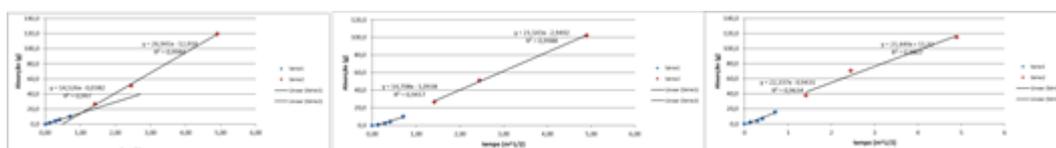
APÊNDICE A - CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS - ABSORÇÃO DE ÁGUA

Tabela 44 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 1 - Ch.

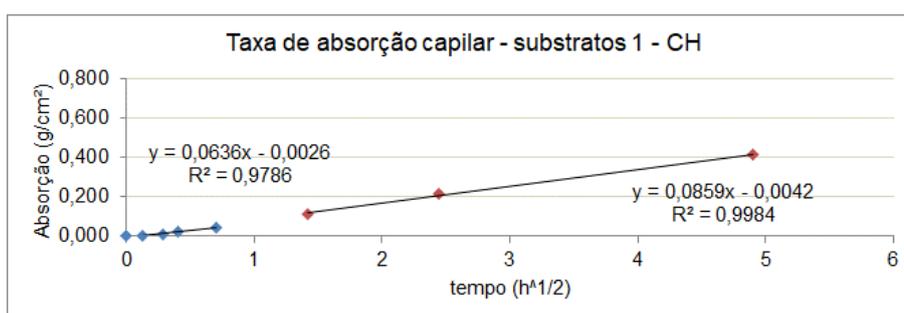
Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	1116,71	1116,71	0,0	0,00	275	0,00
0,1291	1118,28	1116,71	1,6	0,14	275,00	0,01
0,2887	1121,20	1116,71	4,5	0,40	275,00	0,02
0,4082	1122,56	1116,71	5,8	0,52	275,00	0,02
0,7071	1126,88	1116,71	10,2	0,91	275,00	0,04
1,4142	1143,42	1116,71	26,7	2,39	275,00	0,10
2,4495	1167,61	1116,71	50,9	4,56	275,00	0,19
4,8990	1236,42	1116,71	119,7	10,72	275,00	0,44

Amostra 2						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	919,92	919,92	0,0	0,00	275,00	0,00
0,1291	920,55	919,92	0,6	0,07	275,00	0,00
0,2887	922,18	919,92	2,3	0,25	275,00	0,01
0,4082	923,83	919,92	3,9	0,43	275,00	0,01
0,7071	930,20	919,92	10,3	1,12	275,00	0,04
1,4142	946,37	919,92	26,5	2,88	275,00	0,10
2,4495	971,26	919,92	51,3	5,58	275,00	0,19
4,8990	1022,06	919,92	102,1	11,10	275,00	0,37

Amostra 3						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	914,18	914,18	0,0	0,00	264,00	0,00
0,1291	916,56	914,18	2,4	0,26	264,00	0,01
0,2887	918,31	914,18	4,1	0,45	264,00	0,02
0,4082	921,20	914,18	7,0	0,77	264,00	0,03
0,7071	930,18	914,18	16,0	1,75	264,00	0,06
1,4142	952,18	914,18	38,0	4,16	264,00	0,14
2,4495	984,69	914,18	70,5	7,71	264,00	0,27
4,8990	1029,38	914,18	115,2	12,60	264,00	0,44



Média da absorção de água	
Tempo (raiz(h))	Absorção g/cm ²
0	-
0,129099	0,01
0,288675	0,01
0,408248	0,02
0,707107	0,04
1,414214	0,11
2,44949	0,21
4,898979	0,41



CP	Reta1 - a(x)	Reta 1 -b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm ²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m ²)	S(g/cm ² .h ^{1/2})
AMOSTRA A1	14,53	0,04	26,94	12,92	0,01	275,00	1116,71	1236,42	5090,92	0,05
AMOSTRA A2	14,71	1,09	21,54	2,95	0,01	275,00	919,92	1022,06	364,93	0,05
AMOSTRA A3	22,34	0,94	21,45	11,92	0,01	264,00	914,18	1029,38	756737,63	0,08
									média	0,060

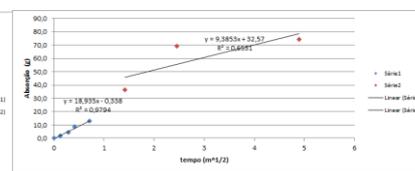
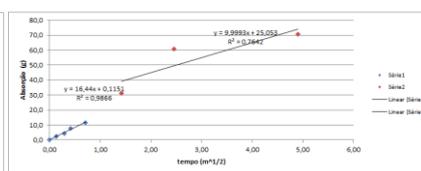
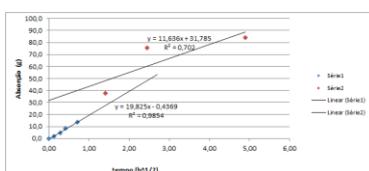
CP	S(mm/h ^{1/2})	t _{cap} (MIN ^{1/2})	Qcap (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva		
AMOSTRA A1	0,53	-1,04	-15,03	1236,42	1116,71	119,71	29,94	-3,76		
AMOSTRA A2	0,53	-0,27	-2,90	1022,06	919,92	102,14	26,14	-0,74		
AMOSTRA A3	0,85	12,36	277,06	1029,38	914,18	115,20	30,71	73,85		
							112,35	28,93	23,12	média
								2,45	43,96	despad
								0,08	1,90	Cv

Tabela 45 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 2 - Ch.

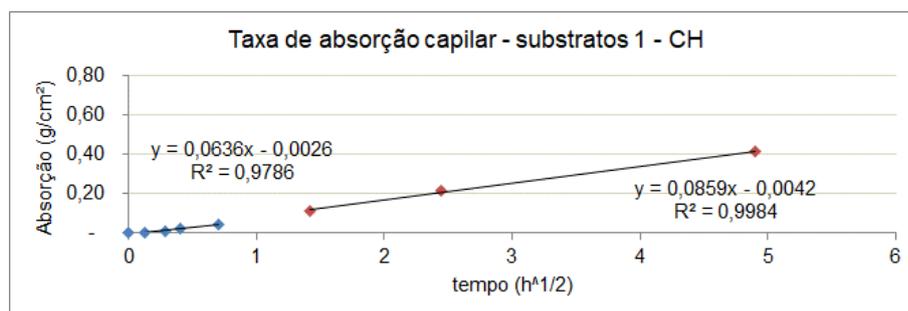
Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	531,86	531,86	0,0	0,00	154,00	0,00
0,1291	533,61	531,86	1,8	0,33	154,00	0,01
0,2887	536,32	531,86	4,5	0,84	154,00	0,03
0,4082	540,36	531,86	8,5	1,60	154,00	0,06
0,7071	545,36	531,86	13,5	2,54	154,00	0,09
1,4142	569,38	531,86	37,5	7,05	154,00	0,24
2,4495	607,40	531,86	75,5	14,20	154,00	0,49
4,8990	616,12	531,86	84,3	15,84	154,00	0,55

Amostra 2						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	446,82	446,82	0,0	0,00	154,00	0,00
0,1291	449,31	446,82	2,5	0,56	154,00	0,02
0,2887	451,01	446,82	4,2	0,94	154,00	0,03
0,4082	454,37	446,82	7,6	1,69	154,00	0,05
0,7071	458,37	446,82	11,6	2,58	154,00	0,08
1,4142	478,16	446,82	31,3	7,01	154,00	0,20
2,4495	507,54	446,82	60,7	13,59	154,00	0,39
4,8990	517,54	446,82	70,7	15,83	154,00	0,46

Amostra 3						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	445,69	445,69	0,0	0,00	154,00	0,00
0,1291	447,39	445,69	1,7	0,38	154,00	0,01
0,2887	450,01	445,69	4,3	0,97	154,00	0,03
0,4082	454,20	445,69	8,5	1,91	154,00	0,06
0,7071	458,50	445,69	12,8	2,87	154,00	0,08
1,4142	481,86	445,69	36,2	8,12	154,00	0,23
2,4495	515,01	445,69	69,3	15,55	154,00	0,45
4,8990	520,15	445,69	74,5	16,71	154,00	0,48



Média da absorção de água	
Tempo (raiz(h))	Absorção g/cm ²
0	-
0,129099	0,01
0,288675	0,03
0,408248	0,05
0,707107	0,08
1,414214	0,23
2,44949	0,44
4,898979	0,50



CP	Reta1 - a(x)	Reta1 - b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm ²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m ²)	S(g/cm ² .h ^{1/2})
AMOSTRA A1	19,83	0,44	11,64	31,79	0,01	154,00	531,86	616,12	116.198,68	0,13
AMOSTRA A2	16,44	0,12	10,00	25,05	0,01	154,00	446,82	517,54	121.896,30	0,11
AMOSTRA A3	18,94	0,34	9,39	32,57	0,01	154,00	445,69	520,15	90.491,82	0,12
									média	0,12

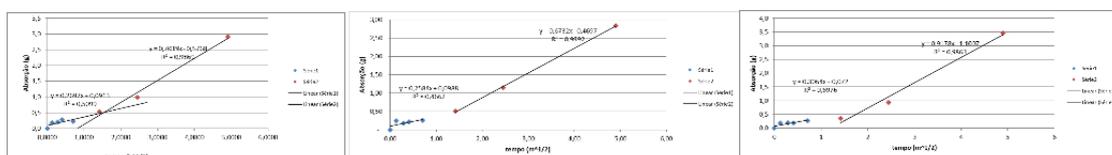
CP	S(mm/h ^{1/2})	t _{cap} (MIN ^{1/2})	Qcap (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva		
AMOSTRA A1	1,29	3,83	76,33	616,1	531,9	84,3	48,72	44,135		
AMOSTRA A2	1,07	3,87	63,77	517,5	446,8	70,7	41,41	37,339		
AMOSTRA A3	1,23	3,38	64,25	520,2	445,7	74,5	43,10	37,183		
							76,5	44,41	39,55	média
								3,83	3,97	despad
								0,09	0,10	Cv

Tabela 46 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 3 - Ch.

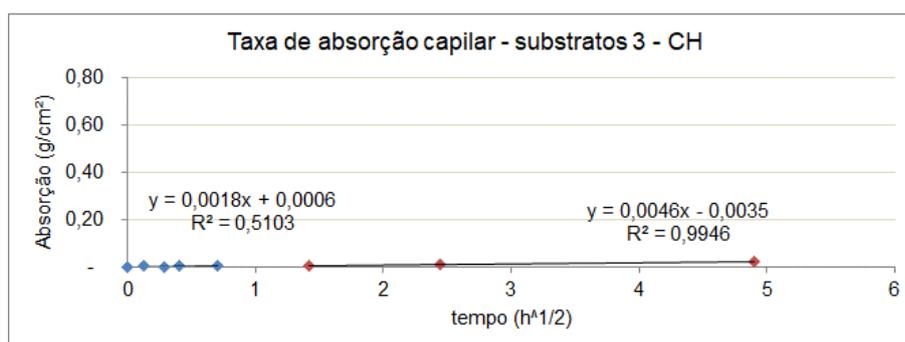
Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	446,73	446,73	0,0	0,00	147,40	0,00
0,1291	446,91	446,73	0,2	0,04	147,40	0,00
0,2887	446,93	446,73	0,2	0,04	147,40	0,00
0,4082	447,00	446,73	0,3	0,06	147,40	0,00
0,7071	446,95	446,73	0,2	0,05	147,40	0,00
1,4142	447,26	446,73	0,5	0,12	147,40	0,00
2,4495	447,71	446,73	1,0	0,22	147,40	0,01
4,8990	449,64	446,73	2,9	0,65	147,40	0,02

Amostra 2						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	502,22	502,22	-	-	154,00	-
0,1291	502,46	502,22	0,24	0,05	154,00	0,00
0,2887	502,40	502,22	0,18	0,04	154,00	0,00
0,4082	502,44	502,22	0,22	0,04	154,00	0,00
0,7071	502,47	502,22	0,25	0,05	154,00	0,00
1,4142	502,73	502,22	0,51	0,10	154,00	0,00
2,4495	503,36	502,22	1,14	0,23	154,00	0,01
4,8990	505,06	502,22	2,84	0,57	154,00	0,02

Amostra 3						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	334,04	334,04	0,0	0,00	78,00	0,00
0,1291	334,22	334,04	0,2	0,05	78,00	0,00
0,2887	334,24	334,04	0,2	0,06	78,00	0,00
0,4082	334,22	334,04	0,2	0,05	78,00	0,00
0,7071	334,31	334,04	0,3	0,08	78,00	0,00
1,4142	334,39	334,04	0,3	0,10	78,00	0,00
2,4495	334,97	334,04	0,9	0,28	78,00	0,01
4,8990	337,50	334,04	3,5	1,04	78,00	0,04



Média da absorção de água	
Tempo (raiz(h))	Absorção g/cm ²
0	-
0,129099	0,00
0,288675	0,00
0,408248	0,00
0,707107	0,00
1,414214	0,00
2,44949	0,01
4,898979	0,02



CP	Reta1 - a(x)	Reta1 - b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm ²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m ²)	S(g/cm ² .h ^{1/2})
AMOSTRA A1	0,27	0,09	0,70	0,58	0,01	147,40	446,73	449,64	12874,74	0,00
AMOSTRA A2	0,26	0,10	0,67	0,47	0,01	154,00	502,22	505,06	9344,43	0,00
AMOSTRA A3	0,31	0,07	0,92	1,10	0,01	78,00	334,04	337,50	31902,51	0,00
									média	0,00

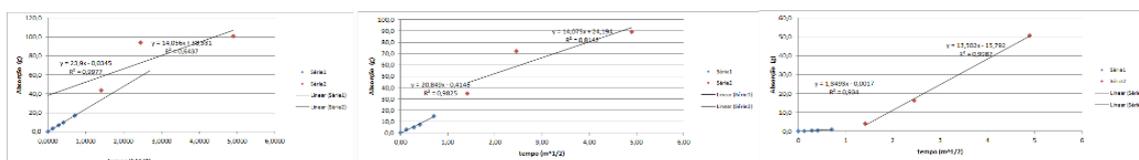
CP	S(mm/h ^{1/2})	t _{cap} (MIN ^{1/2})	Qcap (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva	
AMOSTRA A1	0,02	-1,12	-0,21	449,64	446,73	2,91	1,99	-0,15	
AMOSTRA A2	0,02	-0,89	-0,13	505,06	502,22	2,84	1,99	-0,09	
AMOSTRA A3	0,04	-1,68	-0,44	337,50	334,04	3,46	4,71	-0,60	
						3,07	1,99	-0,12	média
							0,00	0,04	despad
							0,00	-0,31	Cv

Tabela 47 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 4 - Ch.

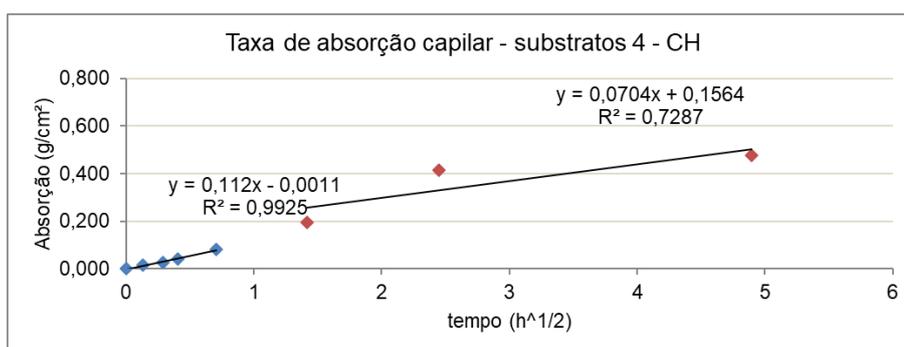
Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	560,09	560,09	0,0	0,00	200,60	0,00
0,1291	563,50	560,09	3,4	0,61	200,60	0,02
0,2887	566,61	560,09	6,5	1,16	200,60	0,03
0,4082	569,52	560,09	9,4	1,68	200,60	0,05
0,7071	577,20	560,09	17,1	3,05	200,60	0,09
1,4142	603,51	560,09	43,4	7,75	200,60	0,22
2,4495	653,89	560,09	93,8	16,75	200,60	0,47
4,8990	661,03	560,09	100,9	18,02	200,60	0,50

Amostra 2						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	580,47	580,47	0,0	0,00	198,90	0,00
0,1291	583,23	580,47	2,8	0,48	198,90	0,01
0,2887	585,36	580,47	4,9	0,84	198,90	0,02
0,4082	587,65	580,47	7,2	1,24	198,90	0,04
0,7071	595,53	580,47	15,1	2,59	198,90	0,08
1,4142	615,06	580,47	34,6	5,96	198,90	0,17
2,4495	652,67	580,47	72,2	12,44	198,90	0,36
4,8990	669,60	580,47	89,1	15,35	198,90	0,45

Amostra 3						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	555,83	555,83	0,0	0,00	200,60	0,00
0,1291	556,05	555,83	0,2	0,04	200,60	0,00
0,2887	556,27	555,83	0,4	0,08	200,60	0,00
0,4082	556,21	555,83	0,4	0,07	200,60	0,00
0,7071	556,85	555,83	1,0	0,18	200,60	0,01
1,4142	559,83	555,83	4,0	0,72	200,60	0,02
2,4495	572,12	555,83	16,3	2,93	200,60	0,08
4,8990	606,48	555,83	50,7	9,11	200,60	0,25



Média da absorção de água	
Tempo (raiz(h))	Absorção g/cm ²
0	0,000
0,129099	0,015
0,288675	0,029
0,408248	0,042
0,707107	0,081
1,414214	0,195
2,44949	0,415
4,898979	0,476



CP	Reta1 - a(x)	Reta1 - b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm ²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m ²)	S(g/cm ² .h ^{1/2})
AMOSTRA A1	23,90	0,03	14,06	38,33	0,01	200,60	560,09	661,03	113.451,70	0,12
AMOSTRA A2	20,85	0,41	14,08	24,19	0,01	198,90	580,47	669,60	102.211,42	0,10
AMOSTRA A3	1,35	0,00	13,50	15,79	0,01	200,60	555,83	606,48	12.721,26	0,01
									média	0,11

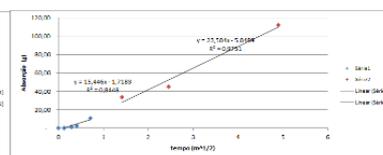
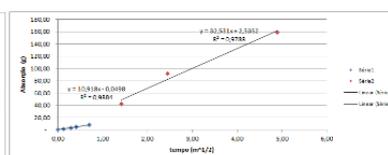
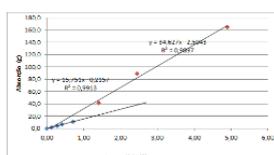
CP	S(mm/h ^{1/2})	t _{cap} (MIN ^{1/2})	Qcap (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva		
AMOSTRA A1	1,19	3,89	93,01	661,03	560,09	100,94	43,57	40,15		
AMOSTRA A2	1,05	3,51	73,60	669,60	580,47	89,13	40,81	33,70		
AMOSTRA A3	0,07	1,30	- 1,75	606,48	555,83	50,65	21,92	- 0,76		
							80,2	42,19	36,92	média
								1,95	4,56	despad
								0,05	0,12	Cv

Tabela 48 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 5 - Ch.

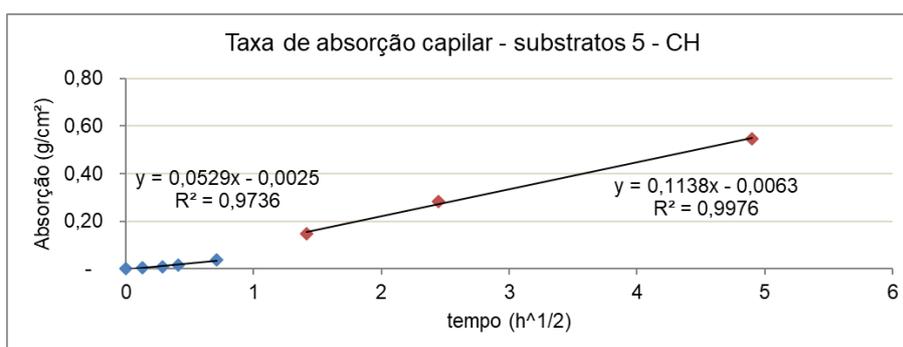
Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	1819,87	1819,87	0,0	0,00	276,00	0,00
0,1291	1821,48	1819,87	1,6	0,09	276,00	0,01
0,2887	1823,72	1819,87	3,9	0,21	276,00	0,01
0,4082	1826,65	1819,87	6,8	0,37	276,00	0,02
0,7071	1830,70	1819,87	10,8	0,60	276,00	0,04
1,4142	1861,34	1819,87	41,5	2,28	276,00	0,15
2,4495	1909,29	1819,87	89,4	4,91	276,00	0,32
4,8990	1984,89	1819,87	165,0	9,07	276,00	0,60

Amostra 2						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	1.672,84	1.672,84	-	-	259,50	-
0,1291	1.674,20	1.672,84	1,36	0,08	259,50	0,01
0,2887	1.675,52	1.672,84	2,68	0,16	259,50	0,01
0,4082	1.677,72	1.672,84	4,88	0,29	259,50	0,02
0,7071	1.680,41	1.672,84	7,57	0,45	259,50	0,03
1,4142	1.714,61	1.672,84	41,77	2,50	259,50	0,16
2,4495	1.764,69	1.672,84	91,85	5,49	259,50	0,35
4,8990	1.831,88	1.672,84	159,04	9,51	259,50	0,61

Amostra 3						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	1.727,09	1.727,09	-	-	259,50	-
0,1291	1.727,47	1.727,09	0,38	0,02	259,50	0,00
0,2887	1.728,26	1.727,09	1,17	0,07	259,50	0,00
0,4082	1.729,61	1.727,09	2,52	0,15	259,50	0,01
0,7071	1.738,11	1.727,09	11,02	0,64	259,50	0,04
1,4142	1.760,59	1.727,09	33,50	1,94	259,50	0,13
2,4495	1.772,06	1.727,09	44,97	2,60	259,50	0,17
4,8990	1.839,43	1.727,09	112,34	6,50	259,50	0,43



Média da absorção de água	
Tempo (raiz(h))	Absorção g/cm ²
0	-
0,129099	0,00
0,288675	0,01
0,408248	0,02
0,707107	0,04
1,414214	0,15
2,44949	0,28
4,898979	0,55

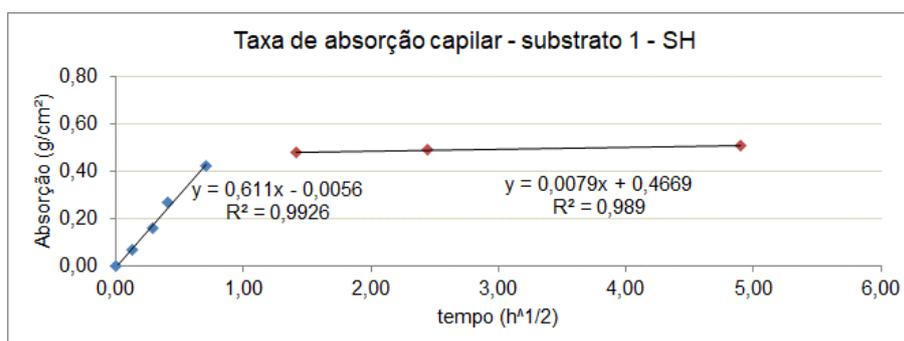


CP	Reta1 - a(x)	Reta1 - b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm ²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m ²)	S(g/cm ² .h ^{1/2})
AMOSTRA A1	15,75	0,22	34,63	2,50	0,01	276,00	1.819,87	1.984,89	129,60	0,06
AMOSTRA A2	10,92	0,05	32,53	2,54	0,01	259,50	1.672,84	1.831,88	111,30	0,04
AMOSTRA A3	15,45	1,72	23,50	5,05	0,10	259,50	1.727,09	1.839,43	17,29	0,06
									média	0,06

CP	S(mm/h ^{1/2})	t _{cap} (MIN ^{1/2})	Qcap (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva			
AMOSTRA A1	0,57	-0,12	-1,69	1984,89	1819,87	165,02	56,14	-0,58			
AMOSTRA A2	0,42	-0,11	-1,21	1831,88	1672,84	159,04	56,23	-0,43			
AMOSTRA A3	0,60	-0,41	-4,67	1839,43	1727,09	112,34	4,36	-0,18			
							145,47	56,18	-	0,50	média
								0,06	-	0,11	despad
								0,00	-	0,21	Cv

Tabela 49 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 1 - Sh.

Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	1008,79	1008,79	0,0	0,00	264	0,00
0,1291	1025,98	1008,79	17,2	1,70	264	0,07
0,2887	1050,14	1008,79	41,4	4,10	264	0,16
0,4082	1079,04	1008,79	70,3	6,96	264	0,27
0,7071	1119,89	1008,79	111,1	11,01	264	0,42
1,4142	1134,68	1008,79	125,9	12,48	264	0,48
2,4495	1137,59	1008,79	128,8	12,77	264	0,49
4,8990	1142,12	1008,79	133,3	13,22	264	0,51



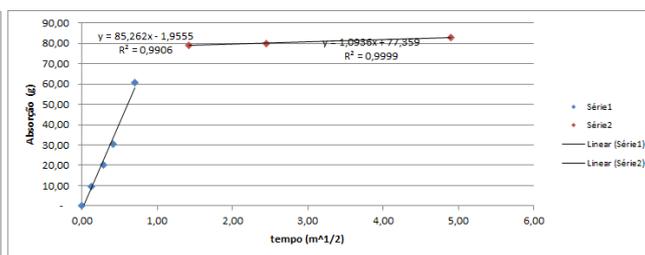
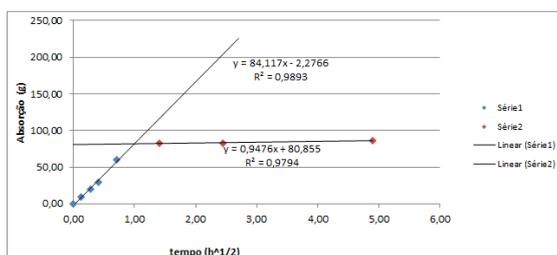
CP	Reta1 - a(x)	Reta1 - b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm ²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m ²)	S(g/cm ² .h ^{1/2})
AMOSTRA A1	161,31	0,9926	2,0835	123,25	0,0152	264,000	1008,8	1142,1	2551,72	0,611

S(mm/h ^{1/2})	t _{cap} (MIN ^{1/2})	Q _{cap} (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva
6,11	0,77	124,85	1.142,12	1.008,79	133,33	33,23	31,11

Tabela 50 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 2 - Sh.

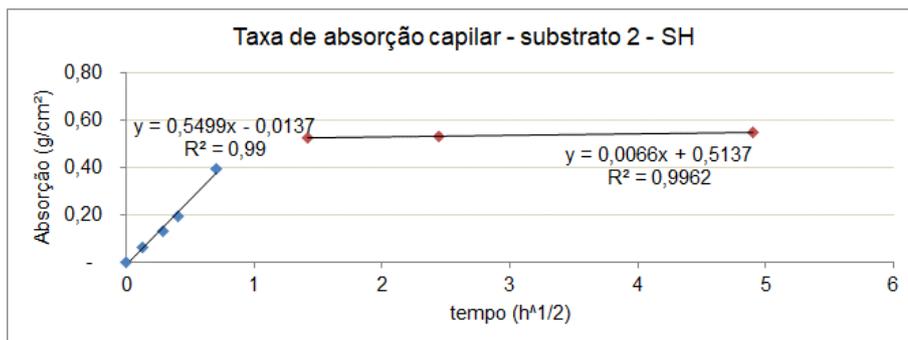
Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	488,22	488,22	0,00	0,00	154,00	0,00
0,1291	497,04	488,22	8,82	1,81	154,00	0,06
0,2887	507,79	488,22	19,57	4,01	154,00	0,13
0,4082	517,85	488,22	29,63	6,07	154,00	0,19
0,7071	547,78	488,22	59,56	12,20	154,00	0,39
1,4142	570,61	488,22	82,39	16,88	154,00	0,54
2,4495	571,12	488,22	82,90	16,98	154,00	0,54
4,8990	573,80	488,22	85,58	17,53	154,00	0,56

Amostra 2						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	466,13	466,13	-	-	154,00	-
0,1291	475,76	466,13	9,63	2,07	154,00	0,06
0,2887	486,35	466,13	20,22	4,34	154,00	0,13
0,4082	496,65	466,13	30,52	6,55	154,00	0,20
0,7071	526,70	466,13	60,57	12,99	154,00	0,39
1,4142	545,02	466,13	78,89	16,92	154,00	0,51
2,4495	546,19	466,13	80,06	17,18	154,00	0,52
4,8990	548,84	466,13	82,71	17,74	154,00	0,54



Média da absorção de água

Tempo (raiz(h))	Absorção g/cm ²
0	-
0,129099	0,06
0,288675	0,13
0,408248	0,20
0,707107	0,39
1,414214	0,52
2,44949	0,53
4,898979	0,55



CP	Reta1 - a(x)	Reta 1 - b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m²)	S(g/cm².h¹/²)
AMOSTRA A1	84,12	2,28	0,95	80,56	0,01	154,00	488,22	573,80	6.698,25	0,55
AMOSTRA A2	85,26	1,96	1,09	77,36	0,01	154,00	466,13	548,84	5.933,70	0,55
Média										0,5499

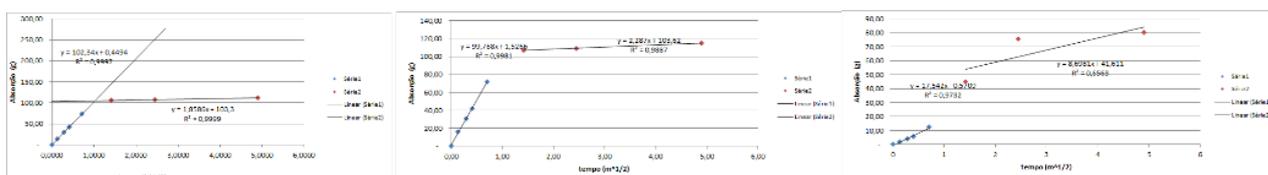
CP	S(mm/h¹/²)	t _{cap} (MIN¹/²)	Qcap (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva	
AMOSTRA A1	5,46	0,94	81,45	573,80	488,20	85,60	48,32	45,99	
AMOSTRA A2	5,54	0,90	78,34	548,80	466,10	82,70	46,18	43,74	
						84,10	47,25	44,86	média
							1,52	1,59	despad
							0,03	0,035	Cv

Tabela 51 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 3 - Sh.

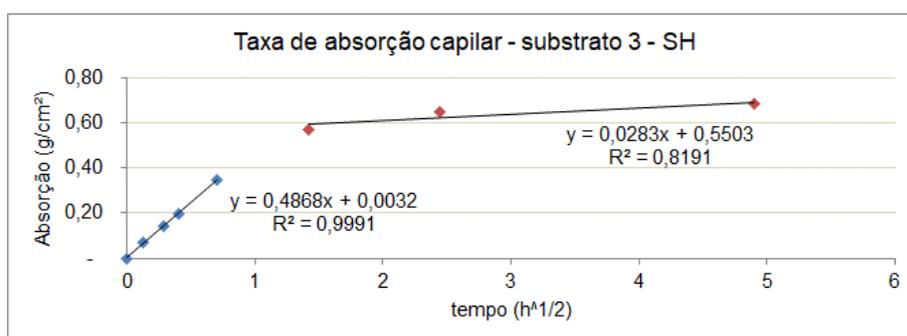
Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	565,49	565,49	-	-	151,80	-
0,1291	579,88	565,49	14,39	2,54	151,80	0,09
0,2887	595,56	565,49	30,07	5,32	151,80	0,20
0,4082	607,26	565,49	41,77	7,39	151,80	0,28
0,7071	638,40	565,49	72,91	12,89	151,80	0,48
1,4142	671,40	565,49	105,91	18,73	151,80	0,70
2,4495	673,38	565,49	107,89	19,08	151,80	0,71
4,8990	677,89	565,49	112,40	19,88	151,80	0,74

Amostra 2						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	577,68	577,68	-	-	148,74	-
0,1291	593,75	577,68	16,07	2,78	148,74	0,11
0,2887	608,48	577,68	30,80	5,33	148,74	0,21
0,4082	619,69	577,68	42,01	7,27	148,74	0,28
0,7071	649,42	577,68	71,74	12,42	148,74	0,48
1,4142	684,88	577,68	107,20	18,56	148,74	0,72
2,4495	686,41	577,68	108,73	18,82	148,74	0,73
4,8990	692,65	577,68	114,97	19,90	148,74	0,77

Amostra 3						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	455,30	455,30	-	-	152,00	-
0,1291	457,30	455,30	2,00	0,44	152,00	0,01
0,2887	459,12	455,30	3,82	0,84	152,00	0,03
0,4082	460,89	455,30	5,59	1,23	152,00	0,04
0,7071	467,93	455,30	12,63	2,77	152,00	0,08
1,4142	500,31	455,30	45,01	9,89	152,00	0,30
2,4495	530,88	455,30	75,58	16,60	152,00	0,50
4,8990	535,76	455,30	80,46	17,67	152,00	0,53



Média da absorção de água	
Tempo (raiz(h))	Absorção g/cm ²
0	-
0,129099	0,07
0,288675	0,14
0,408248	0,20
0,707107	0,35
1,414214	0,57
2,44949	0,65
4,898979	0,68



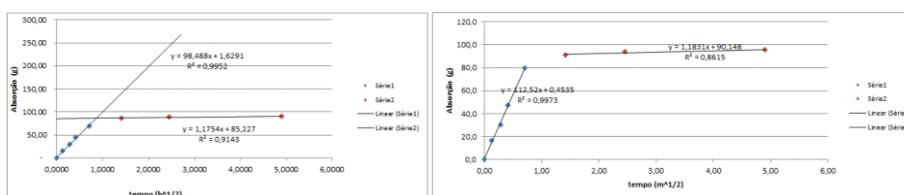
CP	Reta1 - a(x)	Reta1 - b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm ²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m ²)	S(g/cm ² .h ^{1/2})
AMOSTRA A1	102,34	0,45	18,59	103,30	0,01	151,80	565,49	677,89	12.417,65	0,67
AMOSTRA A2	99,79	1,53	2,29	103,62	0,01	148,74	577,68	692,65	10.001,93	0,67
AMOSTRA A3	17,54	0,57	8,70	41,61	0,01	152,00	455,30	535,76	217.506,98	0,12
									média	0,49

CP	S(mm/h ^{1/2})	t _{cap} ^{1/2} (MIN ^{1/2})	Qcap (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva	
AMOSTR A A1	6,74	1,23	126,12	677,89	565,49	112,40	67,19	75,40	
AMOSTR A A2	6,71	1,05	106,01	692,65	577,68	114,97	73,83	68,08	
AMOSTR A A3	1,15	4,64	81,97	535,76	455,30	80,46	53,20	54,20	
						102,61	64,74	65,89	média despa d Cv
							10,53	10,76	
							0,16	0,16	

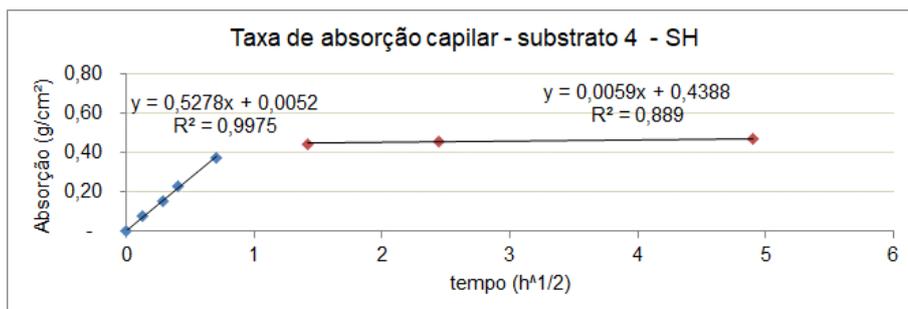
Tabela 52 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 4 - Sh.

Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	489,83	489,83	-	-	198,00	-
0,1291	504,71	489,83	14,88	3,04	198,00	0,08
0,2887	519,90	489,83	30,07	6,14	198,00	0,15
0,4082	534,47	489,83	44,64	9,11	198,00	0,23
0,7071	559,38	489,83	69,55	14,20	198,00	0,35
1,4142	576,21	489,83	86,38	17,63	198,00	0,44
2,4495	578,66	489,83	88,83	18,13	198,00	0,45
4,8990	580,60	489,83	90,77	18,53	198,00	0,46

Amostra 2						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	527,45	527,45	0,0	0,00	201,60	0,00
0,1291	544,16	527,45	16,7	3,17	201,60	0,08
0,2887	557,98	527,45	30,5	5,79	201,60	0,15
0,4082	574,93	527,45	47,5	9,00	201,60	0,24
0,7071	607,50	527,45	80,1	15,18	201,60	0,40
1,4142	618,60	527,45	91,2	17,28	201,60	0,45
2,4495	621,45	527,45	94,0	17,82	201,60	0,47
4,8990	623,11	527,45	95,7	18,14	201,60	0,47



Média da absorção de água	
Tempo (raiz(h))	Absorção g/cm ²
0	-
0,129099	0,08
0,288675	0,15
0,408248	0,23
0,707107	0,37
1,414214	0,44
2,44949	0,46
4,898979	0,47



CP	Reta1 - a(x)	Reta1 -b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m²)	S(g/cm2.h¹/2)
AMOSTRA A1	98,49	1,63	1,18	85,23	0,01	198,00	489,83	580,60	7.177,56	0,50
AMOSTRA A2	112,52	0,45	1,18	90,15	0,01	201,60	527,45	623,11	5.875,54	0,56
Média										0,53

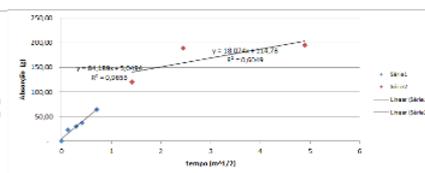
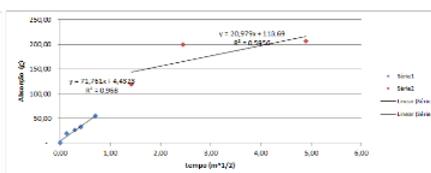
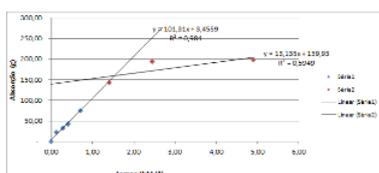
CP	S(mm/h¹/²)	t _{cap} (MIN¹/²)	Qcap (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva	
AMOSTRA A1	4,97	0,86	86,24	580,60	489,83	90,77	45,21	42,95	
AMOSTRA A2	5,58	0,81	91,10	623,11	527,45	95,66	45,15	43,00	
						93,22	45,18	42,97	média
					0,04		0,03	despad	
					0,00		0,00	Cv	

Tabela 53 - Absorção de água por capilaridade - Substratos 5 - Sh.

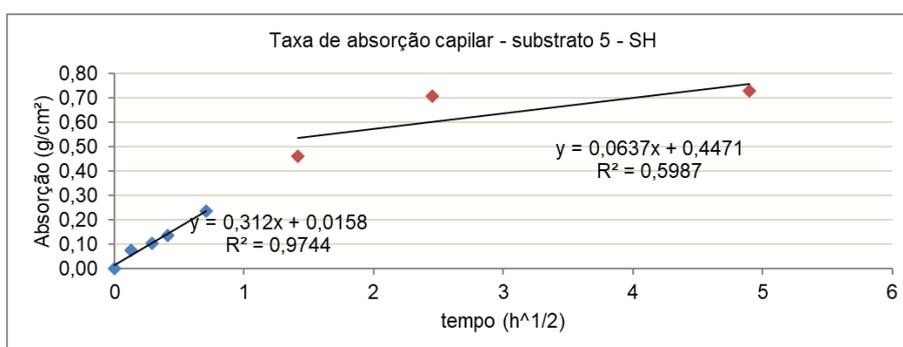
Amostra 1						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	1.669,33	1.669,33	-	-	282,60	-
0,1291	1.691,63	1.669,33	22,30	1,34	282,60	0,08
0,2887	1.701,24	1.669,33	31,91	1,91	282,60	0,11
0,4082	1.712,28	1.669,33	42,95	2,57	282,60	0,15
0,7071	1.744,77	1.669,33	75,44	4,52	282,60	0,27
1,4142	1.812,51	1.669,33	143,18	8,58	282,60	0,51
2,4495	1.863,24	1.669,33	193,91	11,62	282,60	0,69
4,8990	1.867,13	1.669,33	197,80	11,85	282,60	0,70

Amostra 2						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	1.703,75	1.703,75	-	-	270,00	-
0,1291	1.722,82	1.703,75	19,07	1,12	270,00	0,07
0,2887	1.729,65	1.703,75	25,90	1,52	270,00	0,10
0,4082	1.736,52	1.703,75	32,77	1,92	270,00	0,12
0,7071	1.758,19	1.703,75	54,44	3,20	270,00	0,20
1,4142	1.822,66	1.703,75	118,91	6,98	270,00	0,44
2,4495	1.903,60	1.703,75	199,85	11,73	270,00	0,74
4,8990	1.909,88	1.703,75	206,13	12,10	270,00	0,76

Amostra 3						
Tempo (raiz(h))	Peso (H)	peso seco	diferença	% Absorvido	área CP	Absorção g/cm ²
0,0000	1.723,72	1.723,72	-	-	270,00	-
0,1291	1.746,39	1.723,72	22,67	1,32	270,00	0,08
0,2887	1.753,70	1.723,72	29,98	1,74	270,00	0,11
0,4082	1.761,15	1.723,72	37,43	2,17	270,00	0,14
0,7071	1.787,96	1.723,72	64,24	3,73	270,00	0,24
1,4142	1.843,40	1.723,72	119,68	6,94	270,00	0,44
2,4495	1.912,16	1.723,72	188,44	10,93	270,00	0,70
4,8990	1.918,31	1.723,72	194,59	11,29	270,00	0,72



Média da absorção de água	
Tempo (raiz(h))	Absorção g/cm ²
0	-
0,129099	0,08
0,288675	0,11
0,408248	0,14
0,707107	0,24
1,414214	0,46
2,44949	0,71
4,898979	0,73



CP	Reta1 - a(x)	Reta1 - b	Reta2 - a(x)	Reta2 - b	e (m)	área (cm ²)	mseca (g)	msat (g)	R(h/m ²)	S(g/cm ² .h ^{1/2})
AMOSTRA A1	101,31	3,46	13,14	139,93	0,01	282,60	1.669,33	1.867,13	21.120,80	0,36
AMOSTRA A2	71,76	4,43	20,98	113,69	0,01	270,00	1.703,75	1.909,88	44.318,26	0,27
AMOSTRA A3	84,19	5,05	18,07	114,78	0,01	270,00	1.723,72	1.918,31	25.224,52	0,31
média										0,31

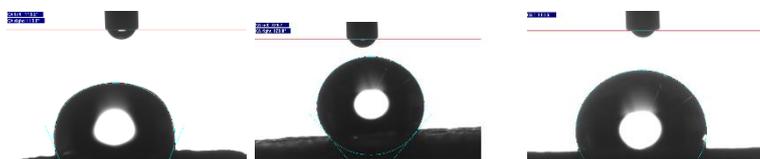
CP	S(mm/h ^{1/2})	t _{cap} (MIN ^{1/2})	Qcap (g)	massa 24h	mas. seca	D. Massa	P total	P efetiva	
AMOSTRA A1	3,58	1,55	160,26	1.867,13	1.669,33	197,80	65,72	53,25	
AMOSTRA A2	2,66	2,15	158,83	1.909,88	1.703,75	206,13	74,70	57,56	
AMOSTRA A3	3,12	1,66	144,78	1.918,31	1.723,72	194,59	68,97	51,31	
199,51							69,80	54,04	média
							4,55	3,20	despad
							0,07	0,06	Cv

APÊNDICE B - ÂNGULOS DE CONTATO

Tabela 54 - Ângulos de contato - Substrato 1

	Ch E	Ch D	Sh E	Sh D
	113,2	113,9	34,2	42,1
	129,7	129,8	28	28
	113,6		28,8	35,7
			43,7	26,5
			31,6	29,1
			40,6	46,2
MÉDIA	118,83	121,85	34,48	34,60
DV	9,41	11,24	6,40	8,14
CV	8%	9%	19%	24%
MÉDIA	120,34		34,54	

Substratos Ch - 1



Substratos Sh - 1

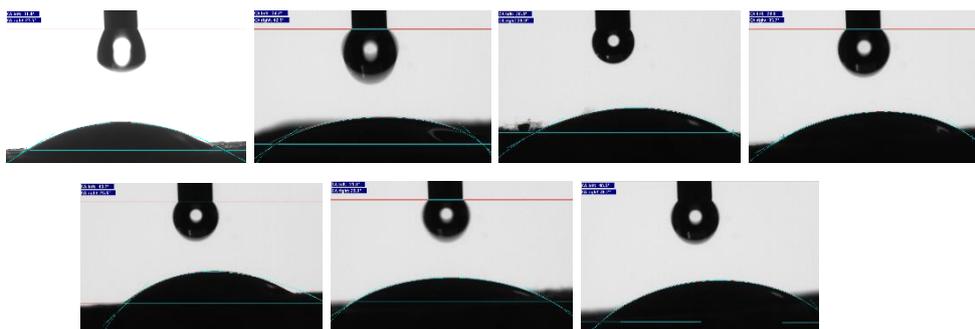
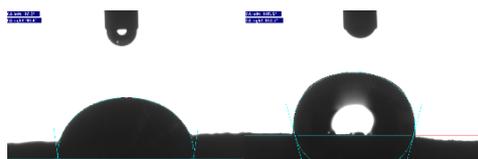


Tabela 55 - Ângulos de contato - Substrato 2

	Ch E	Ch D	Sh E	Sh D
	105,5	104,7	34,2	35,8
	97,3	98,4	38,7	35
			30	29,7
			31,4	23,9
			23,9	17
MÉDIA	101,40	101,55	31,64	28,28
DV	5,80	4,45	5,46	7,91
CV	6%	4%	17%	28%
MÉDIA	101,48		29,96	

Substratos Ch - 2



Substratos Sh - 2

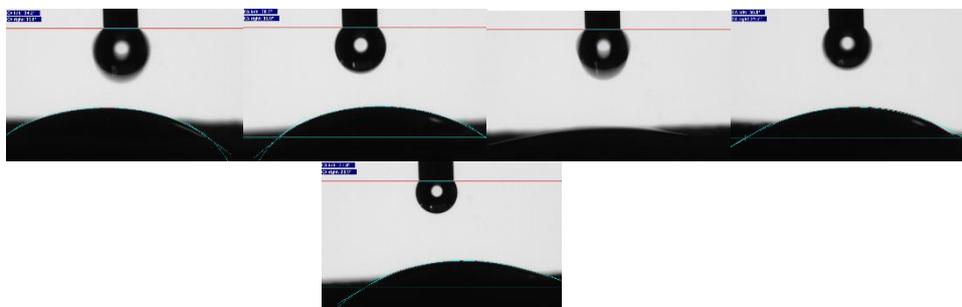


Tabela 56 - Ângulos de contato - Substrato 3

	Ch E	Ch D	Sh E	Sh D
	118,9	119,9	40,8	40,8
	132,4	132,8	48,9	32,6
			35,9	31,4
			35,8	45,7
			47,4	53,8
			34,2	34,3
			47,1	48,4
MÉDIA	125,65	126,35	40,93	40,46
DV	9,55	9,12	6,02	8,15
CV	8%	7%	15%	20%
MÉDIA	126,00		40,69	

Substratos Ch - 3



Substratos SH - 3

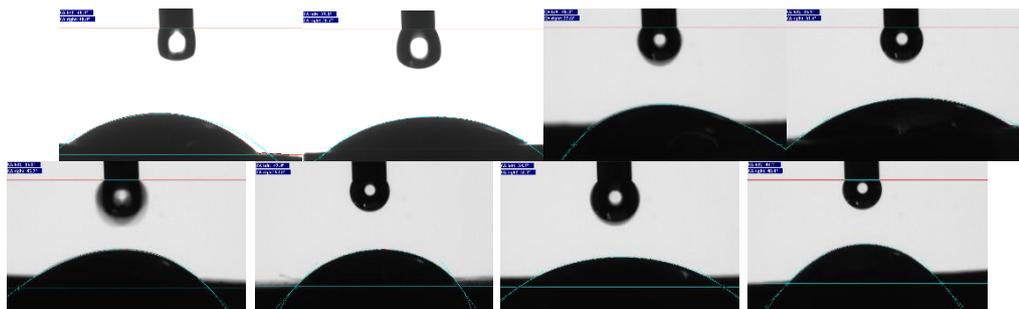
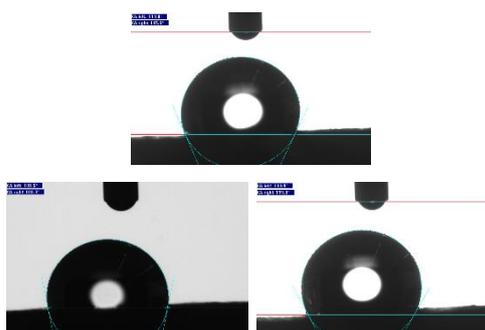


Tabela 57 - Ângulos de contato - Substrato 4.

	Ch E	Ch D	Sh E	Sh D
	113,8	115,6	21,7	18,3
	101,5	101,3	12,2	9,9
	118,9	119,9	34,3	48,2
			21,6	16,3
			23,4	38,6
			21,1	21,1
MÉDIA	111,40	112,27	22,38	25,40
DV	8,94	9,74	7,06	14,74
CV	8%	9%	32%	58%
MÉDIA	111,83		23,89	

Substratos Ch - 4



Substratos Sh - 4

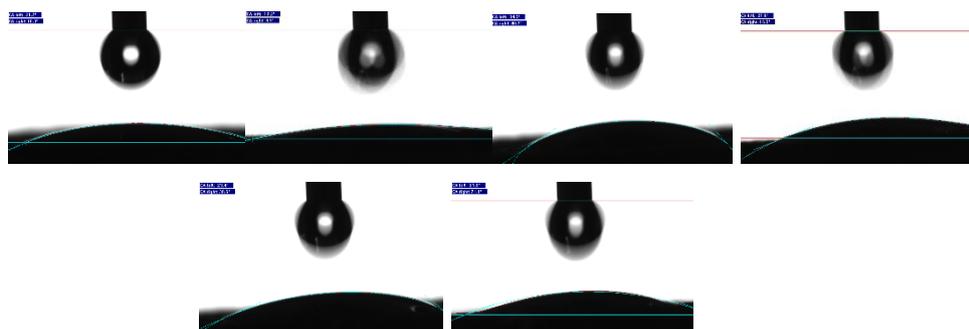
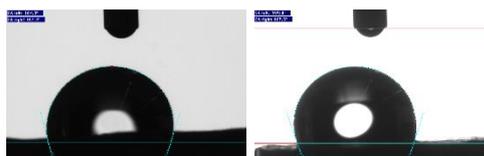


Tabela 58 - Ângulos de contato - Substrato 5.

	Ch E	Ch D	Sh E	Sh D
	104,3	107,3	35,8	22,6
	109	107,5		
MÉDIA	106,65	107,40	35,80	22,60
DV	3,32	0,14	0	0
CV	3%	0%	0%	0%
MÉDIA	107,03		29,2	

Substratos Ch - 5



Substratos Ch - 5



Tabela 59 - Ângulos de contato e taxa de absorção de água inicial.

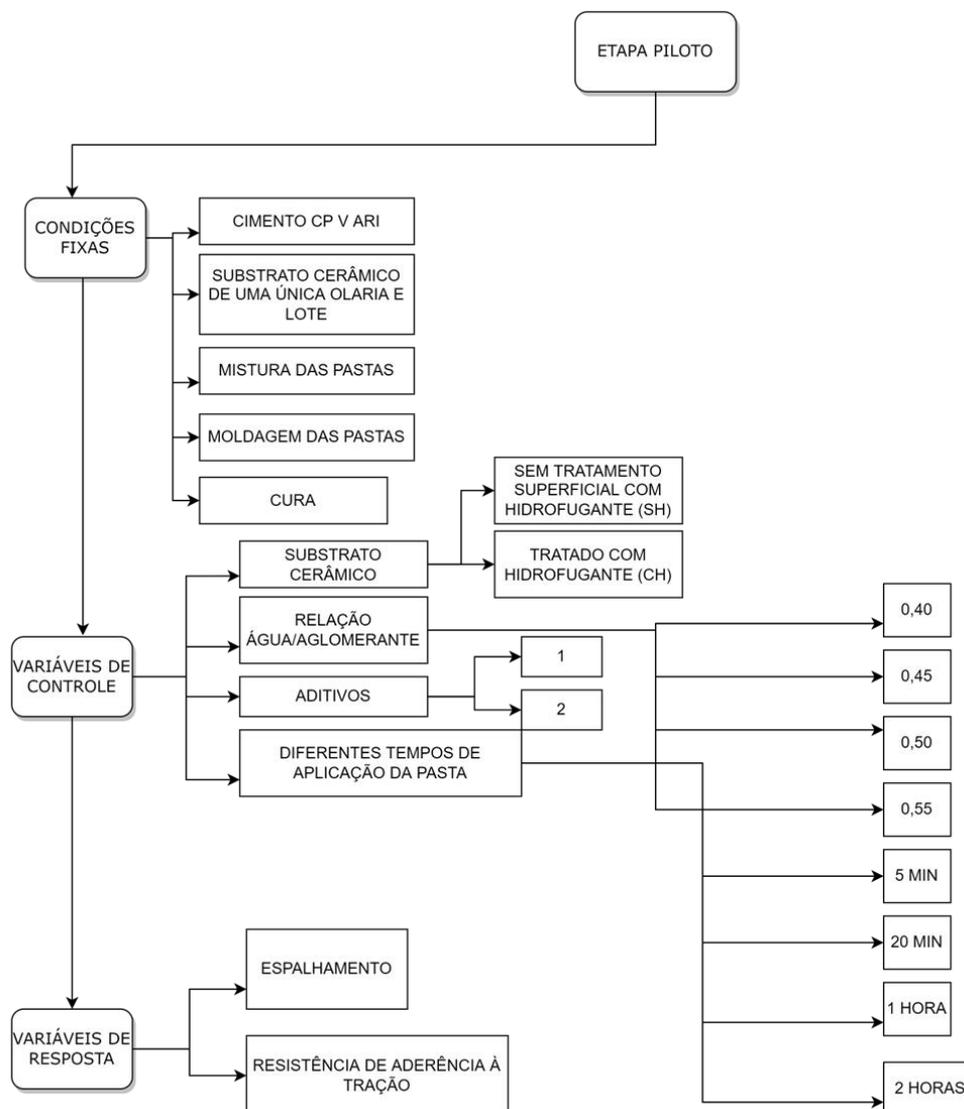
Substratos	Ângulo de contato – Ch (°)	Taxa de absorção capilar inicial – Ch (g/cm ² h ^{-1/2})	Ângulo de contato – Sh (°)	Taxa de absorção capilar inicial – Sh (g/cm ² h ^{-1/2})
1	120	0,0439	35	0,5044
2	101	0,0966	30	0,4640
3	126	0,0108	41	0,5577
4	112	0,1196	24	0,6121
5	107	0,0324	29	0,6029

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

APÊNDICE C - ETAPA-PILOTO

Essa etapa-Piloto encontra-se ilustrada na Figura 52.

Figura 52 - Diagrama da etapa-piloto



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Essa etapa foi importante na definição dos materiais e métodos a serem empregados, de forma a atingir os objetivos propostos para esse estudo. Dessa forma, foram especificadas quatro relações água/ligante (a/l) (0,40, 0,45, 0,50 e 0,55) e dois diferentes aditivos (AD1 e AD2), de modo a gerar pastas com diferentes características reológicas e permitir a avaliação da influência destas variáveis no espalhamento da pasta de cimento sobre o substrato.

Além disso, as pastas de cimento Portland foram aplicadas nos substratos em diferentes tempos após a mistura da água ao cimento, simulando situações reais de aplicação, nas quais o revestimento geralmente é iniciado em tempos que variam de alguns minutos a até duas horas após a confecção da argamassa.

Esse procedimento visou a verificar se o tempo de contato entre o cimento e a água, altera a resistência de aderência à tração (RAT) e, assim verificar, desde o momento do contato do cimento com a água até a aplicação nos substratos, se essas misturas sofrem alterações na reologia, que se prolongam além do período de cura, no qual se realiza a aferição da resistência de aderência à tração (RAT), em geral especificado aos 28 dias.

Na etapa-piloto, a pasta foi caracterizada quanto à viscosidade, de forma avaliar quantitativamente as propriedades reológicas das pastas de cimento, através do Viscosímetro Brookfield DV – II Pró. Os viscosímetros são equipamentos automatizados e controlados, portanto, são eficientes para a obtenção de informações mais precisas a respeito do fluído em análise.

O ensaio foi executado no laboratório de Polímeros, na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos. Os testes mediram a tensão de cisalhamento durante a aceleração e desaceleração das pastas, trazendo uma curva reológica de ida-e-volta. Sendo assim, foram obtidos os seguintes parâmetros reológicos: viscosidade; tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento. Para a realização do ensaio de viscosidade das pastas de cimento, seguiu-se o procedimento de Jordani (2020).

A pasta selecionada na etapa-piloto foi caracterizada ainda quanto à mudança de granulometria ao longo do tempo, empregando ensaios de granulometria a laser, nos tempos de 5 minutos, 20 minutos, 1 e 2 horas do preparo. Após a confecção das pastas, estas foram homogeneizadas, durante todo o período, em um agitador mecânico de rotação 1000 R.P.M., conforme procedimentos adotados por Maciel (2017). A realização da granulometria a laser, neste caso, exige a parada da hidratação das pastas. O objetivo desses procedimentos experimentais é a verificação da influência da mudança de reologia ao longo do tempo, além da alteração da granulometria das partículas dessas pastas.

Efeito do tratamento do substrato com hidrofugante

Foram adotados 2 tratamentos de superfície distintos Sh (sem hidrofugantes) e Ch (com hidrofugantes), diferentes pastas produzidas com 4 distintas relações água/ligante (a/l) e 2 pastas fabricadas com dois diferentes aditivos superplastificantes. Dessa forma, foram produzidas 10 moldagens por substrato, totalizando 100 amostras moldadas. Os dados completos, referentes às médias das RAT, encontram-se no Apêndice D. As amostras receberam as nomenclaturas seguidas da relação a/l e a existência ou não de tratamento do substrato.

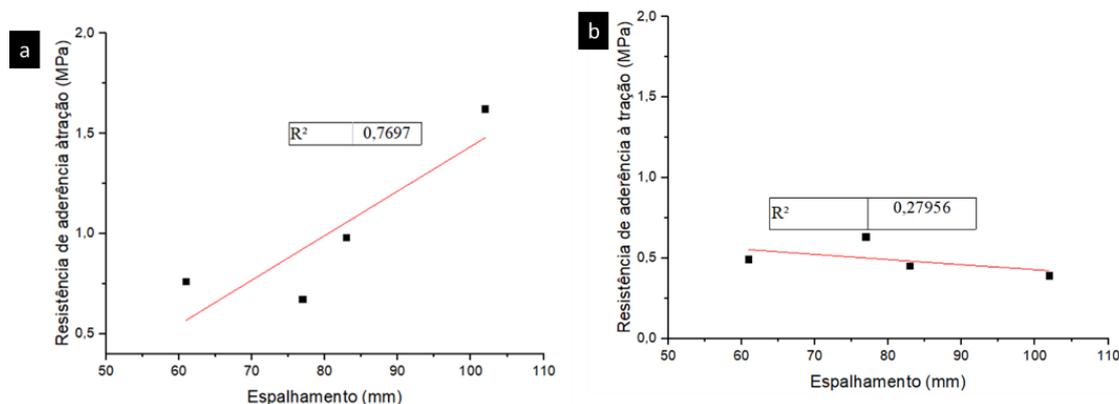
Tabela 60 - RAT e espalhamento das diferentes relações água/ligante e tratamentos de substratos

Designação	Espalhamento (mm)	RAT (MPa)	Coefficiente de variação (%)
PAC40Sh	61	0,76	36
PAC45Sh	77	0,67	37
PAC50Sh	83	0,98	19
PAC55Sh	102	1,62	37
PAC40Ch	61	0,49	22
PAC45Ch	77	0,63	22
PAC50Ch	83	0,45	43
PAC55Ch	102	0,39	15

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Observou-se que o tratamento do substrato, com o intuito de mitigar a absorção de água por capilaridade, diminui a resistência de aderência, mas ainda mantém a resistência mínima (0,30 MPa) necessária para os ensaios propostos.

Figura 53 - Relação linear entre o espalhamento e RAT das amostras em diferentes tratamentos de superfície dos substratos: a) Sh; b) Ch



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

A partir dos resultados de RAT foi possível verificar, para as pastas aplicadas sobre os substratos Sh, um coeficiente de determinação (R^2) de 0,77 (Figura 53 a) quando correlacionou o espalhamento e a aderência. No caso dos substratos Ch, esse teste estatístico (Figura 53 b) indicou que não há associação entre as duas variáveis.

Conclui-se então que todos os espalhamentos resultam em aderência acima de 0,40 MPa, o que permite a comparação entre os resultados, com ou sem o uso de hidrofugantes.

Quanto aos coeficientes de variação resultantes das análises, verificou-se que para os substratos Sh, estes variaram de 19 a 37% e, para as amostras Ch, de 15 a 43%. Isto demonstra que a RAT sofre a influência de diversos outros fatores, como citado por Carasek (1996).

Na sequência do estudo, utilizaram-se apenas os substratos Ch, pois esses receberam o tratamento na intenção de reduzir a sucção da água e, posteriormente, na terceira etapa do estudo, separar os efeitos de absorção de água na aderência e avaliar a influência dos parâmetros de rugosidade dos blocos cerâmicos na aderência.

Efeito do uso de aditivo plastificante

De forma a garantir o espalhamento das pastas a serem produzidas para a segunda etapa, foram utilizados dois diferentes aditivos superplastificantes. Desses

modo, buscou-se uma dosagem que atendesse um espalhamento de 100 ± 5 mm, respectivo da pasta a/l igual a 0,55. Dos resultados, foi possível verificar coeficientes de variação próximos, contudo o aditivo AD2 apresentou maiores valores para a RAT. Os dados de todas as amostras ensaiadas encontram-se no Apêndice E.

Tabela 61 - RAT e espalhamento das pastas produzidas com aditivos.

Designação	Espalhamento (mm)	RAT (MPa)	Coefficiente de variação (%)
PAC40ChAD1	97	0,46	26
PAC40ChAD2	98	0,57	24

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Além disso, resolveu-se por realizar o ensaio de viscosidade nas pastas com relação a/l 0,40 com a inclusão dos aditivos e com a pasta com a/l de 0,55. Os dados de densidade e teor de ar incorporado, obtidos da caracterização dessas pastas estão listados posteriormente, em que se observou uma redução do teor de ar incorporado das pastas produzidas com os aditivos.

Tabela 62 - Densidade e teor de ar incorporado das pastas PAC55Ch, PAC40ChAD1 e PAC40ChAD2

Pastas	Densidade (g/cm³)	Teor de ar incorporado (%)
PAC55Ch	1,53	14%
PAC40ChAD1	1,87	4%
PAC40ChAD2	1,84	5%

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

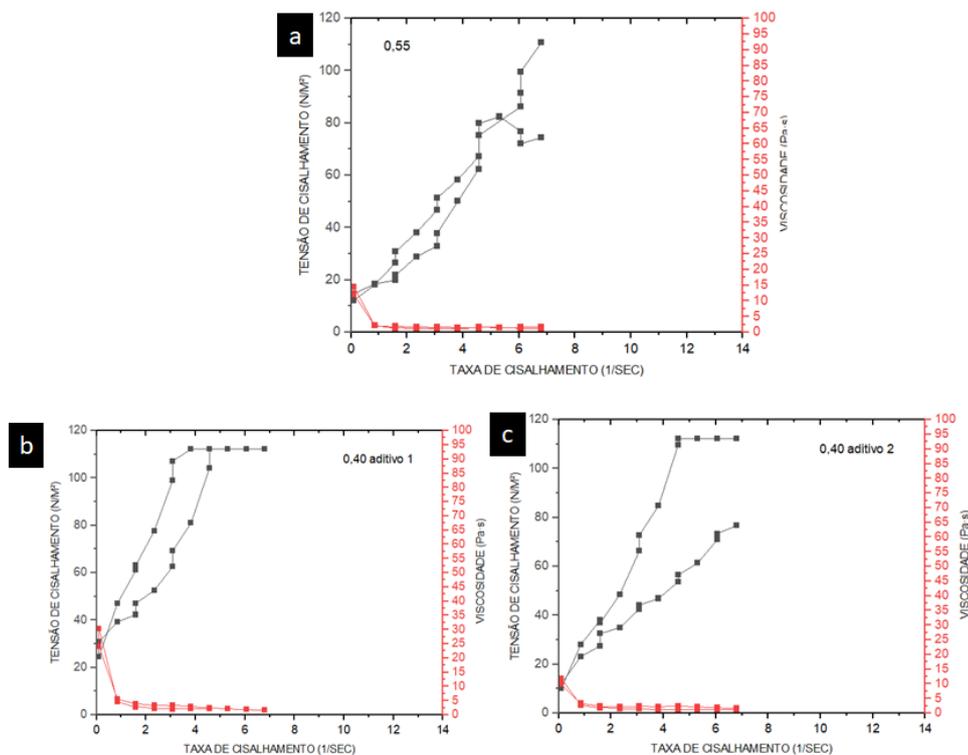
A viscosidade é a constante de proporcionalidade entre a taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento. Uma baixa viscosidade permite a utilização de um menor teor de água ou de um maior teor de sólidos para a obtenção de uma mesma trabalhabilidade. Nesse sentido, os aditivos dispersantes à base de carboxilatos modificam a carga da superfície do cimento ao serem adsorvidos por elas, reduzindo o atrito interpartículas, a viscosidade e a tensão de escoamento do sistema (RIXON; MAILVAGANAN, 1999).

As pastas de cimento sofrem alterações reológicas ao longo do tempo, causadas principalmente pelos mecanismos de hidratação do cimento (ANTUNES, 2005). O comportamento reológico das pastas de cimento se aproxima de um fluido plástico ou binghamiano, ou seja, comporta-se como um sólido necessitando de uma

tensão inicial para começar a escoar (TATTERSALL; BANFILL, 1983). Entretanto, a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação não é linear.

Os gráficos que caracterizam a reologia das pastas encontram-se abaixo na figura 54.

Figura 54 - Tensão de cisalhamento e viscosidade *versus* taxa de cisalhamento das pastas : a) PAC55Ch, b) PAC40ChAD1 e c) PAC40ChAD2



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

O aditivo 2, foi o que melhor se aproximou das características de viscosidade da pasta produzida com a relação a/l 0,55. Através da relação entre taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento foi possível observar um comportamento não linear, mostrando uma tendência de um comportamento de fluido Herschel-Bulkley. O perfil da curva tensão de cisalhamento *versus* taxa de cisalhamento é típico de materiais com estrutura aglomerada, pois, com o aumento da taxa de cisalhamento, a estrutura tridimensional de partículas de cimento se rompe (BARNES *et al.*, 1993; NONAT *et al.*, 1997; SAAK; JENNINGS; SHAH, 2001, BETIOLI *et al.*, 2009), fato este ocasionado pela redução do tamanho das unidades móveis e, por isso, a tensão de cisalhamento diminui sob altas taxas (BETIOLI *et al.*, 2009).

Efeito do tempo de aplicação da pasta sobre o substrato

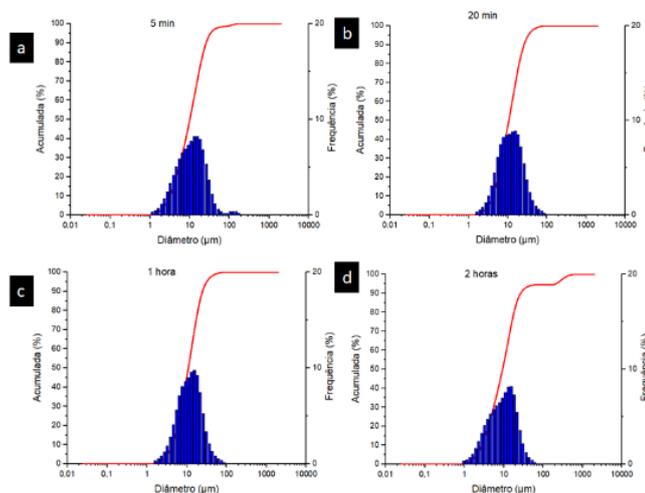
Outra análise realizada avaliou a influência do tempo, decorrente entre a mistura e a aplicação da pasta no substrato, na aderência. Foi determinado o comportamento das RAT aplicando as pastas, nos substratos, em tempos de 5 minutos, 20 minutos, 1 e 2 horas. Os resultados constam na Tabela 62 e Figura 55 a seguir. Os dados completos das RAT aferidas ao longo dos tempos constam do Apêndice G.

Tabela 63 - Caracterização das pastas PAC45AD2Ch ao longo do tempo de preparo da pasta

Granulometria a laser	CP V - ARI	5 min.	20 min.	1 hora	2 horas
D10 (μm)	5,22	3,24	4,22	4,33	2,76
D50 (μm)	13,04	10,14	10,71	10,98	9,38
D90 (μm)	29,76	25,93	26,04	24,86	26,80
Mz	14,94	11,91	12,48	12,38	11,13
Espalhamento (mm)		102	92	82	79
RAT (Mpa)		0,55	0,39	0,71	0,41
Coefficiente de variação		22%	18%	48%	6%

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Figura 55 - Granulometria a laser das pastas: a) 5 min; b) 20min.; c) 1 hora e d) 2 horas



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

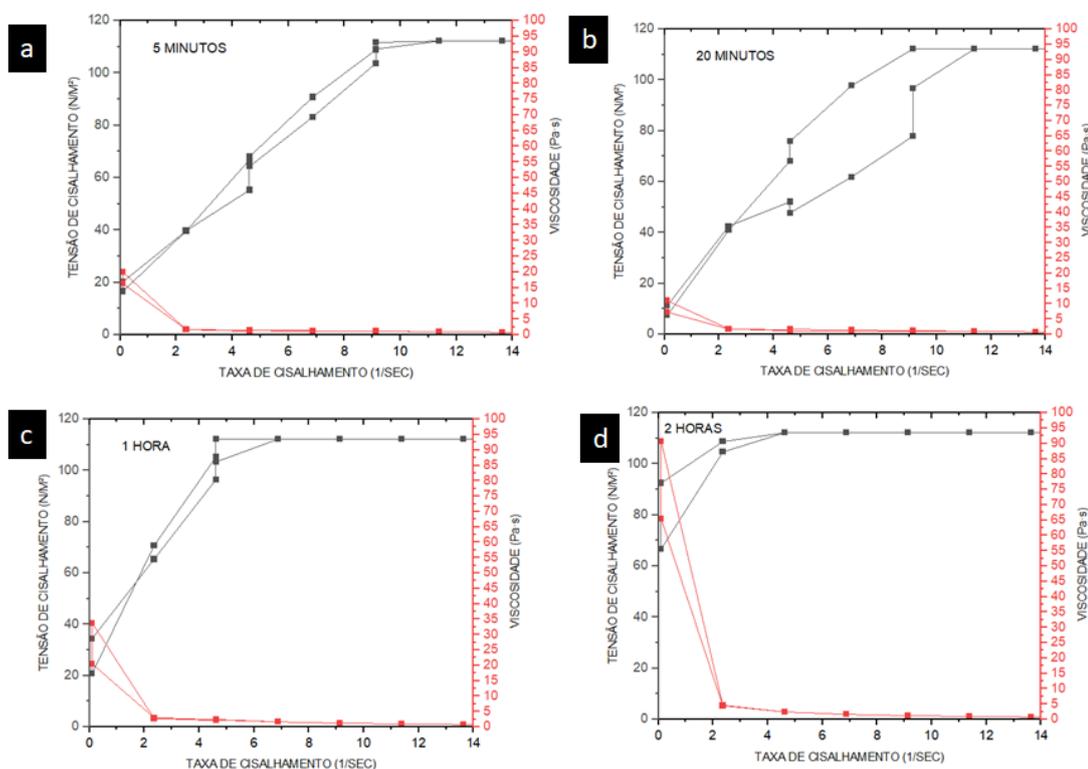
Observou-se que ocorreu uma redução dos tamanhos dos grãos após a dissolução do cimento na água, o que auxilia na penetração dos produtos gerados

nas rugosidades dos substratos em todos os tempos, porém a trabalhabilidade e fluidez também são reduzidas, no entanto os valores de RAT ao longo dos tempos foram superiores à 0,30 MPa.

Torres, Veiga e Freitas (2018), citam que a interação entre a argamassa e o substrato ocorre ao longo do tempo através da hidratação cinética da argamassa, juntamente com as características de absorção do substrato.

Foram realizados testes de reologia nas pastas produzidas ao longo do tempo. Os dados completos das análises de viscosidade encontram-se no Apêndice F.

Figura 56 - Tensão de cisalhamento e viscosidade *versus* taxa de cisalhamento das pastas ao longo do tempo da produção: a) 5 min; b) 20min.; c) 1 hora e d) 2 horas



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Nesse sentido, verificou-se, em 20 minutos, que ocorreu o aumento da fluidez da pasta, provavelmente em função da ação do aditivo superplastificante. Após 1 hora, foram observados maiores valores de tensão de cisalhamento, indicando a presença de uma estrutura mais aglomerada, resultado dos fenômenos de aglomeração (BETIOLI *et al.*,2009) e, com menor intensidade, as reações de

hidratação, pois as medidas foram realizadas durante o período de indução. A tensão de escoamento, propriedade diretamente ligada ao estado de aglomeração das partículas (SAAK; JENNINGS; SHAH, 2001), dobrou de valor entre os tempos de 1 hora e 2 horas de hidratação, resultado dos efeitos de consolidação.

Verifica-se, ao longo dos tempos analisados, que todas as pastas apresentam certo grau de pseudoplasticidade, em que a viscosidade aparente, calculada pela relação entre a tensão e taxa de cisalhamento, diminui com o aumento da taxa de cisalhamento (BETIOLI *et al.*, 2009).

Conclusões sobre a etapa-piloto

Conclui-se que a sucção de água intensa dos substratos Sh influencia, de maneira significativa, para o aumento da aderência, devido ao maior espalhamento. Porém, no caso dos substratos Ch, há uma tendência de a relação a/l não mostrar influência significativa nos resultados de aderência e, assim, essas amostras apresentaram redução nos coeficientes de variação. O aumento no teor de água acima do previsto para as relações a/l 0,50 e 0,55 resultaram em redução de aderência e perdas de amostras, mesmo antes dos ensaios de ruptura. Ocorre que, como o substrato não succiona a água com maior intensidade nos momentos iniciais, acontece exsudação da pasta aplicada ao substrato.

Quanto ao emprego de dois diferentes superplastificantes, esses demonstraram resultados de aderência e coeficientes de variação semelhantes, todavia o aditivo AD2 apresentou melhores resultados quanto à viscosidade.

No que se refere à aplicação de pastas nos substratos, ao longo do tempo, verificou-se que ocorrem alterações tanto da viscosidade quanto do espalhamento, entretanto, os resultados de aderência não apresentaram resultados inferiores a 0,30 MPa, mesmo os blocos cerâmicos tratados com hidrofugante.

APÊNDICE D - RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ETAPA-PILOTO

Tabela 64 - Cálculo das RAT – etapa-piloto.

COM HIDRORREPELENTE A/C=0.40					
Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	11,16	10,97	122,43	83,08	0,68
2					
3	11,18	11,11	124,21	68,62	0,55
4	10,97	10,93	119,90	41,40	0,35
5	10,95	10,86	118,92	69,08	0,58
6	11,03	10,90	120,23	50,76	0,42
7					
8	11,10	10,86	120,55	54,20	0,45
9	11,02	11,15	122,87	56,97	0,46
10	11,13	11,02	122,65	49,23	0,40
				MÉDIA	0,49
				DV	0,11
				CV	22%
COM HIDRORREPELENTE A/C=0.45					
Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	11,20	11,35	127,12	66,55	0,52
2					
3	11,06	11,17	123,54	53,57	0,43
4	11,18	11,38	127,23	107,17	0,84
5	11,18	11,17	124,88	81,31	0,65
6	11,14	11,17	124,43	55,94	0,45
7	11,10	11,24	124,76	80,45	0,64
8	11,38	11,17	127,11	97,11	0,76
9	11,22	11,18	125,44	88,26	0,70
10	11,29	11,08	125,09	78,95	0,63
				MÉDIA	0,63
				DV	0,14
				CV	22%
COM HIDRORREPELENTE A/C=0.50					
Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	10,97	10,94	120,01	39,31	0,33
2	11,23	11,00	123,53	20,20	0,16
3	11,17	11,15	124,55	49,07	0,39
4					
5	10,85	10,90	118,27	63,50	0,54
6	11,14	11,05	123,10	96,48	0,78
7	11,10	10,96	121,66	85,14	0,70
8	11,07	11,13	123,21	55,32	0,45
9	11,00	10,92	120,12	33,77	0,28
10	11,18	11,21	125,33	55,22	0,44

MÉDIA	0,45
DV	0,20
CV	43%

COM HIDRORREPELENTE A/C=0.55

Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1			-		
2	11,04	11,12	122,76	49,86	0,41
3	11,30	11,10	125,43	41,83	0,33
4	11,27	10,96	123,52	48,84	0,40
5	11,04	11,04	121,88	35,99	0,30
6	11,40	11,41	130,07	49,81	0,38
7	11,31	11,32	128,03	61,76	0,48
8	11,54	11,13	128,44	56,98	0,44
10	11,05	11,03	121,88	47,00	0,39
MÉDIA					0,39
DV					0,06
CV					15%

SEM HIDRORREPELENTE A/C=0.40

Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	10,91	11,01	120,12	69,41	0,58
2	10,88	11,02	119,90	54,78	0,46
3	10,96	10,97	120,23	115,50	0,96
4	11,11	11,11	123,43	108,42	0,88
5	11,14	11,09	123,54	150,38	1,22
6					
7					
8	11,02	10,98	121,00	82,20	0,68
9	10,85	11,19	121,41	63,28	0,52
10					
MÉDIA					0,76
DV					0,27
CV					36%

SEM HIDRORREPELENTE A/C=0.45

Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	11,35	11,32	128,48	134,77	1,05
2	11,31	11,24	127,12	60,5	0,48
3	11,44	11,34	129,73	76,33	0,59
4	11,34	11,25	127,58	72,90	0,57
5	11,33	11,26	127,58	68,77	0,54
6	11,22	11,18	125,44	88,06	0,70
7	11,31	11,13	125,88	64,59	0,51
8	11,52	11,37	130,98	61,10	0,47
9	11,47	11,16	128,01	144,84	1,13
10					

MÉDIA	0,67
DV	0,25
CV	37%

SEM HIDRORREPELENTE A/C=0.50

Superfície	a	b	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
1					
2	11,19	11,64	130,25	162,17	1,25
3	11,40	10,80	123,12	96,15	0,78
4	11,10	10,95	121,55	107,29	0,88
5	11,17	10,98	122,65	101,75	0,83
6	10,94	11,05	120,89	115,71	0,96
7					
8					
9					
10	11,44	11,48	131,33	151,89	1,16
MÉDIA					0,98
DV					0,19
CV					19%

SEM HIDRORREPELENTE A/C=0.55

Superfície	a	b	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
1	11,76	11,13	130,89	125,51	0,96
2	11,00	11,35	124,85	152,39	1,22
3	11,38	11,04	125,64	270,23	2,15
4	11,04	11,24	124,09	317,24	2,56
5	10,96	11,38	124,72	300,35	2,41
6	10,97	11,08	121,55	172,89	1,42
7	11,46	11,27	129,15	180,36	1,40
8					
9	10,79	10,77	116,21	123,99	1,07
10	11,22	11,22	125,89	170,93	1,36
MÉDIA					0,98
DV					0,19
CV					19%

APÊNDICES E - RESISTÊNCIAS DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DA ETAPA-PILOTO - ADITIVOS

Tabela 65 - Cálculo das RAT – Etapa-piloto - Aditivos

ADITIVO AD1					
Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	10,91	10,95	119,46	35,08	0,29
2	10,91	10,84	118,26	75,98	0,64
3	10,7	10,72	114,70	51,85	0,45
4	10,95	10,97	120,12	48,48	0,40
5	10,96	10,65	116,72	71,55	0,61
6	10,66	11,01	117,37	47,57	0,41
7	10,8	10,54	113,83	40,26	0,35
8	11,13	10,88	121,09	46,13	0,38
9	10,75	10,5	112,88	57,03	0,51
10	10,64	10,72	114,06	68,21	0,60
MÉDIA					0,46
DV					0,12
CV					26%
ADITIVO AD2					
Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	10,86	10,65	115,66	47,63	0,41
2	10,5	10,51	110,36	49,63	0,45
3	10,13	10,01	101,40	64,98	0,64
4	10,52	10,99	115,61	84,38	0,73
5	10,74	10,76	115,56	42,50	0,37
6	10,61	10,64	112,89	70,58	0,63
7	10,64	10,89	115,87	47,55	0,41
8	10,56	10,8	114,05	52,92	0,46
9	10,86	10,96	119,03	47,21	0,40
10	10,92	10,33	112,80	131,81	1,17
MÉDIA					0,57
DV					0,13
CV					24%

APÊNDICES F - DADOS DA REOLOGIA DAS PASTAS

Tabela 66 - Dados de viscosidades das pastas.

Dados de viscosidade das pastas - $a/a=0,55$		
Taxa de cisalhamento	Tensão de cisalhamento	Viscosidade
1/SEC	N/M ²	Pa·s
6,80	110,75	1,63
6,06	99,53	1,64
6,06	91,58	1,51
6,06	86,17	1,42
4,57	75,26	1,65
4,57	67,31	1,47
3,82	58,43	1,53
3,08	51,40	1,67
3,08	46,81	1,52
2,34	38,14	1,63
1,59	30,80	1,94
1,59	26,62	1,67
0,85	18,15	2,14
0,10	12,24	12,00
0,10	14,79	14,50
0,85	18,46	2,18
1,59	19,99	1,26
1,59	21,82	1,37
2,34	28,86	1,24
3,08	33,04	1,07
3,08	37,94	1,23
3,82	50,17	1,31
4,57	62,41	1,37
4,57	79,85	1,75
5,31	82,40	1,55
6,06	76,89	1,27
6,06	72,10	1,19
6,80	74,44	1,09
Dados de viscosidade das pastas - $a/a=0,40$ – AD1		
Taxa de cisalhamento	Tensão de cisalhamento	Viscosidade
1/SEC	N/M ²	Pa·s
6,80	112,18	1,65
6,06	112,18	1,85
6,06	112,18	1,85
5,31	112,18	2,11
4,57	112,18	2,46
4,57	112,18	2,46
3,82	112,18	2,94

3,08	107,18	3,48
3,08	99,02	3,21
2,34	77,71	3,33
1,59	63,12	3,97
1,59	61,08	3,84
0,85	47,01	5,55
0,10	24,58	24,09
0,10	30,90	30,29
0,85	39,26	4,64
1,59	42,32	2,66
1,59	47,11	2,96
2,34	52,52	2,25
3,08	62,61	2,03
3,08	69,24	2,25
3,82	80,97	2,12
4,57	104,22	2,28
4,57	112,18	2,46
5,31	112,18	2,11
6,06	112,18	1,85
6,06	112,18	1,85
6,80	112,18	1,65

Dados de viscosidade das pastas - a/a=0,40 – AD2

Taxa de cisalhamento	Tensão de cisalhamento	Viscosidade
1/SEC	N/M²	Pa·s
6,80	112,18	1,65
6,06	112,18	1,85
6,06	112,18	1,85
5,31	112,18	2,11
4,57	112,18	2,46
4,57	109,73	2,40
3,82	84,95	2,22
3,08	72,71	2,36
3,08	66,29	2,15
2,34	48,54	2,08
1,59	36,92	2,32
1,59	38,14	2,40
0,85	28,04	3,31
0,10	9,99	9,80
0,10	12,03	11,80
0,85	23,15	2,73
1,59	27,53	1,73
1,59	32,53	2,04
2,34	34,98	1,50
3,08	42,52	1,38
3,08	44,16	1,43

3,82	46,91	1,23
4,57	53,74	1,18
4,57	56,50	1,24
5,31	61,39	1,16
6,06	70,87	1,17
6,06	73,42	1,21
6,80	76,69	1,13

Dados de viscosidade das pastas - a/a=0,45 – AD2 - 5 min.

Taxa de cisalhamento	Tensão de cisalhamento	Viscosidade
1/SEC	N/M ²	Pa·s
20,40	112,18	0,55
18,15	112,18	0,62
18,15	112,18	0,62
15,89	112,18	0,71
13,63	112,18	0,82
13,63	112,18	0,82
11,38	112,18	0,99
9,12	111,67	1,22
9,12	108,81	1,19
6,87	90,76	1,32
4,61	68,02	1,47
4,61	66,80	1,45
2,36	39,67	1,68
0,10	16,62	16,30
0,10	20,29	19,90
2,36	39,77	1,69
4,61	55,27	1,20
4,61	64,25	1,39
6,87	83,11	1,21
9,12	103,71	1,14
9,12	109,12	1,20
11,38	112,18	0,99
13,63	112,18	0,82
13,63	112,18	0,82
15,89	112,18	0,71
18,15	112,18	0,62
18,15	112,18	0,62
20,40	112,18	0,55

Dados de viscosidade das pastas - a/a=0,45 – AD2 - 20 min.

Taxa de cisalhamento	Tensão de cisalhamento	Viscosidade
1/SEC	N/M ²	Pa·s
20,40	112,18	0,55
18,15	112,18	0,62
18,15	112,18	0,62
15,89	112,18	0,71

13,63	112,18	0,82
13,63	112,18	0,82
11,38	112,18	0,99
9,12	112,18	1,23
9,12	112,18	1,23
6,87	97,70	1,42
4,61	75,87	1,64
4,61	68,22	1,48
2,36	40,89	1,74
0,10	7,44	7,30
0,10	11,22	11,00
2,36	42,52	1,80
4,61	52,11	1,13
4,61	47,73	1,03
6,87	61,80	0,90
9,12	77,91	0,85
9,12	96,78	1,06
11,38	112,18	0,99
13,63	112,18	0,82
13,63	112,18	0,82
15,89	112,18	0,71
18,15	112,18	0,62
18,15	112,18	0,62
20,40	112,18	0,55

Dados de viscosidade das pastas - $a/a=0,45$ – AD2 - 1 hora.

Taxa de cisalhamento	Tensão de cisalhamento	Viscosidade
1/SEC	N/M²	Pa·s
20,40	112,18	0,55
18,15	112,18	0,62
18,15	112,18	0,62
15,89	112,18	0,71
13,63	112,18	0,82
13,63	112,18	0,82
11,38	112,18	0,99
9,12	112,18	1,23
9,12	112,18	1,23
6,87	112,18	1,63
4,61	112,18	2,43
4,61	105,24	2,28
2,36	70,67	3,00
0,10	20,91	20,50
0,10	34,47	33,79
2,36	65,37	2,77
4,61	96,47	2,09
4,61	103,30	2,24

6,87	112,18	1,63
9,12	112,18	1,23
9,12	112,18	1,23
11,38	112,18	0,99
13,63	112,18	0,82
13,63	112,18	0,82
15,89	112,18	0,71
18,15	112,18	0,62
18,15	112,18	0,62
20,40	112,18	0,55

Dados de viscosidade das pastas - a/a=0,45 – AD2 - 2 horas.

Taxa de cisalhamento	Tensão de cisalhamento	Viscosidade
1/SEC	N/M²	Pa·s
20,40	112,18	0,55
18,15	112,18	0,62
18,15	112,18	0,62
15,89	112,18	0,71
13,63	112,18	0,82
13,63	112,18	0,82
11,38	112,18	0,99
9,12	112,18	1,23
9,12	112,18	1,23
6,87	112,18	1,63
4,61	112,18	2,43
4,61	112,18	2,43
2,36	104,63	4,44
0,10	66,69	65,39
0,10	92,49	90,68
2,36	108,71	4,61
4,61	112,18	2,43
4,61	112,18	2,43
6,87	112,18	1,63
9,12	112,18	1,23
9,12	112,18	1,23
11,38	112,18	0,99
13,63	112,18	0,82
13,63	112,18	0,82
15,89	112,18	0,71
18,15	112,18	0,62
18,15	112,18	0,62
20,40	112,18	0,55

APÊNDICE G - RAT AO LONGO DOS TEMPOS

Tabela 67 - RAT ao longo dos tempos.

5 min					
Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	10,99	10,98	120,67	67,50	0,56
2					
3	11,06	11,01	121,77	67,68	0,56
4	11,04	10,79	119,12	60,84	0,51
5					
6					
7	10,87	11,15	121,20	41,70	0,34
8	10,89	11,1	120,88	73,53	0,61
9					
10	10,89	11,01	119,90	85,48	0,71
				MÉDIA	0,55
				DV	0,12
				CV	22%
20 min					
Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	10,94	10,67	116,73	40,00	0,34
2					
3					
4					
5					
6	10,54	10,62	111,94	53,69	0,48
7	10,82	10,83	117,18	48,23	0,41
8					
9					
10	10,95	10,72	117,38	38,19	0,33
				MÉDIA	0,39
				DV	0,07
				CV	18%
1 hora					
Superfície	a	b	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
1	10,74	11,11	119,32	73,00	0,61
2					
3	10,98	11,12	122,10	40,59	0,33
4	10,84	11,6	125,74	48,60	0,39
5					
6	10,7	11,1	118,77	140,30	1,18
7	10,96	10,93	119,79	118,73	0,99
8					
9	10,83	11,16	120,86	56,55	0,47
10	10,78	11,05	119,12	116,34	0,98
				MÉDIA	0,71

				DV	0,34
				CV	48%
2 horas					
Superfície	a	b	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
1	10,66	10,65	113,53	43,62	0,38
2					
3	10,65	10,32	109,91	45,08	0,41
4					
5					
6					
7	10,67	10,58	112,89	50,58	0,45
8	10,74	10,69	114,81	45,69	0,40
9					
10	10,6	10,55	111,83	44,22	0,40
				MÉDIA	0,41
				DV	0,02
				CV	6%

APÊNDICES H - DADOS DOS PARÂMETROS DE RUGOSIDADE

Tabela 68 - RAT Substratos Ch *versus* parâmetros de rugosidade.

Superfície	RAT (MPa)	Ra (µm)	Rvm (µm)	Amv(mm ²)
01B1A01	0,63	3,58	4,17	0,15
01B1A02	0,63	3,60	4,17	0,14
01B1A03	0,52	4,85	5,25	0,15
01B1A04	0,54	1,64	1,77	0,13
01B1A06	0,70	1,51	1,62	0,13
01B1A07	0,68	1,50	1,61	0,14
01B1A08	0,47	1,58	1,75	0,11
01B1A09	0,51	1,39	1,56	0,12
01B3A02	0,41	1,91	2,12	0,11
01B3A03	0,39	2,32	2,52	0,11
01B3A06	0,46	2,01	2,20	0,14
01B3A07	0,45	1,97	2,20	0,12
01B3A08	0,45	2,25	2,53	0,12
01B3A09	0,43	2,06	2,29	0,14
01B3A10	0,47	2,08	2,32	0,12
01B5A02	0,68	1,59	1,77	0,12
01B5A03	0,69	2,14	2,45	0,11
01B5A04	0,74	2,73	3,11	0,13
01B5A05	0,73	1,73	1,98	0,11
01B5A09	0,67	1,44	1,68	0,10
01B5A10	0,49	1,90	2,14	0,15
01B10A01	0,82	1,46	1,66	0,11
01B10A02	0,72	1,58	1,76	0,13
01B10A03	0,69	1,86	1,95	0,14
01B10A04	0,80	1,64	1,82	0,12
01B10A05	0,78	1,64	1,87	0,13
01B10A06	0,69	1,81	2,03	0,13
01B10A07	0,83	1,92	2,17	0,14
01B10A08	0,75	2,15	2,29	0,15
01B10A09	0,66	1,57	1,79	0,10
01B10A10	0,66	2,33	2,60	0,13
01B3B04	0,35	1,78	1,93	0,13
01B3B05	0,47	2,05	2,21	0,15
01B3B06	0,54	2,26	2,44	0,13
01B3B07	0,54	1,78	1,91	0,12
01B3B08	0,57	1,84	1,95	0,14
01B3B09	0,41	1,70	1,86	0,12
01B3B10	0,47	1,57	1,77	0,11

01B5B01	0,85	1,80	2,03	0,10
01B5B02	0,80	1,94	2,25	0,12
01B5B03	0,63	1,66	1,86	0,12
01B5B04	0,65	1,70	1,88	0,12
01B5B05	0,61	1,73	1,99	0,11
01B5B06	0,66	1,95	2,22	0,11
01B5B07	0,70	2,40	2,75	0,12
01B5B08	0,70	1,93	2,15	0,13
01B5B09	0,60	2,84	3,21	0,12
01B5B10	0,60	1,63	1,81	0,13
01B7B01	0,63	2,60	2,99	0,11
01B7B02	0,64	1,89	2,15	0,11
01B7B03	0,72	2,68	3,05	0,11
01B7B04	0,66	2,45	2,65	0,13
01B7B05	0,68	2,74	3,03	0,13
01B7B06	0,69	2,05	2,30	0,12
01B7B07	0,69	2,44	2,83	0,11
01B7B08	0,66	1,89	2,06	0,11
01B7B09	0,65	2,89	3,27	0,13
01B7B10	0,58	2,43	2,67	0,10
01B10B01	0,51	1,64	1,82	0,13
01B10B02	0,59	2,68	3,06	0,12
01B10B03	0,71	2,46	2,78	0,12
01B10B04	0,64	1,89	2,17	0,12
01B10B05	0,66	2,43	2,72	0,11
01B10B06	0,58	1,92	2,20	0,12
01B10B07	0,52	1,43	1,66	0,12
01B10B08	0,74	1,47	1,69	0,11
01B10B09	0,63	2,53	2,85	0,17
01B10B10	0,61	2,22	2,51	0,10
MÉDIA	0,62	2,07	2,32	0,12
DV	0,12	0,58	0,66	0,01
CV (%)	19	28	28	12
MÍNIMO	0,35	1,39	1,56	0,10
MÁXIMO	0,85	4,85	5,25	0,17
02B6A01	0,73	2,49	2,68	0,17
02B6A02	0,57	1,79	1,96	0,11
02B6A04	0,79	1,83	1,93	0,16
02B6A06	0,47	1,83	1,91	0,16
02B6A07	0,50	1,78	1,88	0,15
02B6A08	0,42	1,78	1,87	0,15
02B6A09	0,69	1,72	1,79	0,15
02B6A10	0,62	3,62	3,88	0,16
02B7A02	0,81	2,52	2,88	0,15

02B7A03	0,73	1,66	1,86	0,13
02B7A04	0,60	3,61	3,91	0,16
02B7A05	0,74	2,38	2,70	0,13
02B7A06	0,66	1,70	1,81	0,17
02B7A07	0,58	1,62	1,83	0,15
02B7A08	0,64	3,08	3,47	0,11
02B7A10	0,74	3,38	3,62	0,17
02B8A01	0,34	2,01	2,25	0,13
02B8A03	0,40	4,59	5,24	0,14
02B8A04	0,34	3,86	4,55	0,12
02B8A07	0,26	2,27	2,66	0,13
02B8A08	0,29	4,42	4,71	0,16
02B8A09	0,27	1,56	1,72	0,13
02B8A10	0,32	1,76	1,99	0,14
02B1B01	0,64	2,79	3,01	0,14
02B1B02	0,62	1,96	2,05	0,13
02B1B03	0,63	1,81	1,94	0,13
02B1B04	0,69	1,87	1,96	0,14
02B1B05	0,69	2,35	2,56	0,12
02B1B06	0,57	2,73	3,02	0,14
02B1B07	0,61	2,71	3,11	0,13
02B1B08	0,61	1,86	1,99	0,13
02B1B09	0,60	2,40	2,66	0,11
02B1B10	0,61	1,84	1,93	0,14
02B3B01	0,77	2,54	2,81	0,12
02B3B02	0,76	2,58	2,86	0,12
02B3B03	0,61	2,53	2,69	0,13
02B3B04	0,67	2,41	2,67	0,13
02B3B05	0,77	1,97	2,07	0,15
02B3B06	0,67	2,67	2,92	0,14
02B3B07	0,58	2,90	3,12	0,15
02B3B08	0,54	2,79	2,91	0,17
02B3B09	0,70	1,79	1,97	0,12
02B3B10	0,73	2,00	2,07	0,14
02B7B01	0,68	3,28	3,48	0,13
02B7B02	0,87	3,16	3,30	0,17
02B7B03	0,70	1,90	1,96	0,14
02B7B04	0,64	1,85	1,93	0,13
02B7B05	0,67	1,94	2,01	0,16
02B7B06	0,72	2,92	3,18	0,14
02B7B07	0,71	2,74	2,95	0,14
02B7B08	0,64	2,92	3,07	0,16
02B8B01	0,66	2,95	3,23	0,14
02B8B02	0,65	1,75	1,85	0,13
02B8B03	0,70	1,65	1,74	0,12

02B8B04	0,67	4,16	4,45	0,13
02B8B05	0,75	1,86	2,01	0,13
02B8B06	0,75	2,99	3,26	0,17
02B8B07	0,71	1,64	1,76	0,14
02B8B09	0,66	1,63	1,74	0,13
02B10B01	0,47	2,50	2,85	0,13
02B10B02	0,54	1,90	2,06	0,12
02B10B03	0,48	1,75	1,90	0,13
02B10B04	0,48	1,89	1,97	0,15
02B10B06	0,50	1,82	1,88	0,15
02B10B07	0,50	1,74	1,86	0,12
02B10B08	0,60	1,80	1,91	0,14
02B10B10	0,57	1,76	1,86	0,15
MÉDIA	0,61	2,36	2,56	0,14
DV	0,14	0,73	0,82	0,01
CV%	22	31	32	11
MÍNIMO	0,26	1,56	1,72	0,11
MÁXIMO	0,87	4,59	5,24	0,17
03B5A01	1,19	2,62	2,94	0,15
03B5A03	0,78	2,26	2,56	0,09
03B5A04	0,73	0,61	0,82	0,07
03B5A06	1,24	3,10	3,60	0,18
03B5A07	0,82	1,08	1,31	0,09
03B5A08	0,53	0,64	0,84	0,10
03B5A09	1,13	0,74	0,93	0,08
03B5A10	0,87	3,48	3,72	0,14
03B6A01	0,73	0,64	0,85	0,08
03B6A02	0,83	0,66	0,86	0,09
03B6A03	0,85	0,68	0,84	0,08
03B6A04	0,58	0,66	0,82	0,10
03B6A06	0,47	0,84	1,02	0,10
03B6A07	0,65	0,71	0,89	0,10
03B6A08	0,98	0,79	0,97	0,11
03B6A09	0,92	1,59	1,89	0,09
03B6A10	0,56	0,66	0,84	0,07
03B1B01	0,54	0,67	0,85	0,09
03B1B02	0,62	3,11	3,22	0,12
03B1B03	0,61	1,11	1,16	0,11
03B1B04	1,00	1,06	1,23	0,15
03B1B05	0,78	0,97	1,11	0,12
03B1B06	0,63	1,12	1,39	0,10
03B1B07	0,58	2,84	3,26	0,21
03B1B08	0,32	1,20	1,43	0,12
03B1B09	0,58	1,54	1,75	0,10

03B1B10	0,41	0,65	0,83	0,08
03B3B01	0,54	1,85	1,97	0,10
03B3B02	0,54	2,43	2,70	0,11
03B3B05	0,51	0,63	0,83	0,07
03B3B06	0,54	0,67	0,89	0,08
03B3B07	0,55	1,61	1,90	0,12
03B3B10	0,76	1,45	1,71	0,07
03B5B01	0,52	2,51	2,80	0,11
03B5B02	0,50	1,88	2,12	0,11
03B5B03	0,40	1,20	1,50	0,07
03B5B05	0,80	0,61	0,82	0,06
03B5B06	0,82	0,63	0,84	0,08
03B5B07	0,43	0,86	1,04	0,09
03B5B08	0,45	1,09	1,25	0,11
03B5B09	0,41	0,90	1,03	0,08
03B5B10	0,47	0,67	0,85	0,07
03B6B01	0,97	2,51	2,80	0,11
03B6B02	1,19	1,88	2,12	0,11
03B6B03	1,32	1,20	1,50	0,07
03B6B04	1,06	3,45	3,72	0,16
03B6B06	1,45	0,63	0,84	0,08
03B6B07	1,42	0,86	1,04	0,09
03B6B08	1,11	1,09	1,25	0,11
03B6B09	0,76	0,90	1,03	0,08
03B6B10	1,12	0,67	0,85	0,07
03B7B01	0,60	1,73	1,91	0,14
03B7B02	0,75	1,50	1,72	0,11
03B7B03	0,44	0,59	0,76	0,10
03B7B04	0,56	1,43	1,68	0,11
03B7B05	0,48	0,59	0,76	0,08
03B7B06	0,75	1,02	1,26	0,07
03B7B07	0,46	0,57	0,74	0,11
03B7B08	0,93	0,60	0,76	0,10
03B7B09	0,64	0,66	0,82	0,09
03B7B10	1,33	0,58	0,75	0,08
03B9B01	1,33	1,72	2,02	0,09
03B9B02	1,41	2,12	2,37	0,11
03B9B04	1,10	0,70	0,88	0,08
03B9B06	1,19	0,67	0,83	0,10
03B9B07	0,72	0,64	0,80	0,08
03B9B08	0,68	0,75	0,91	0,10
03B9B10	1,21	0,69	0,83	0,09
MÉDIA	0,78	1,25	1,46	0,10
DV	0,30	0,78	0,83	0,03
CV (%)	39	63	57	27

MÍNIMO	0,32	0,57	0,74	0,06
MÁXIMO	1,45	3,48	3,72	0,21
04B1A01	0,54	2,21	2,26	0,20
04B1A02	0,45	2,13	2,26	0,18
04B1A03	0,42	2,59	3,00	0,19
04B1A04	0,45	1,94	2,00	0,18
04B1A06	0,49	1,92	1,95	0,18
04B1A07	0,47	2,10	2,22	0,17
04B1A08	0,42	1,87	1,94	0,17
04B1A09	0,39	2,55	2,64	0,19
04B1A10	0,40	2,24	2,27	0,19
04B5A02	0,72	2,57	2,52	0,24
04B5A04	0,65	1,87	1,92	0,15
04B5A05	0,82	1,95	1,96	0,18
04B5A06	0,64	2,06	2,04	0,24
04B5A07	0,71	1,96	1,95	0,19
04B5A08	0,70	2,07	2,05	0,20
04B5A09	0,67	2,40	2,56	0,21
04B5A10	0,94	2,36	2,47	0,19
04B7A01	0,75	2,93	3,10	0,17
04B7A02	1,12	2,02	2,07	0,17
04B7A03	0,84	2,08	2,28	0,21
04B7A04	1,13	2,01	2,04	0,19
04B7A05	1,29	2,57	2,69	0,20
04B7A06	1,18	2,41	2,62	0,18
04B7A07	0,96	2,76	2,96	0,21
04B7A08	1,11	2,61	2,97	0,20
04B7A09	0,89	2,04	2,10	0,16
04B7A10	0,90	2,23	2,27	0,18
04B1B01	0,54	1,99	2,05	0,16
04B1B02	0,59	1,99	2,03	0,18
04B1B03	0,47	1,90	1,94	0,14
04B1B04	0,52	1,97	1,98	0,18
04B1B05	0,65	1,93	1,98	0,19
04B1B06	0,59	1,99	2,04	0,15
04B1B07	0,47	1,91	1,94	0,17
04B1B08	0,56	1,99	2,05	0,18
04B1B09	0,61	1,99	2,09	0,16
04B1B10	0,53	1,97	2,03	0,17
04B2B01	0,57	2,54	2,70	0,19
04B2B02	0,62	2,38	2,60	0,15
04B2B04	0,51	2,56	2,70	0,14
04B2B05	0,52	2,05	2,12	0,17
04B2B06	0,58	2,14	2,22	0,19

04B2B07	0,54	2,24	2,42	0,15
04B2B08	0,75	2,13	2,24	0,18
04B2B09	0,44	2,73	2,96	0,17
04B3B01	0,44	2,47	2,68	0,14
04B3B02	0,49	2,40	2,39	0,19
04B3B04	0,47	2,20	2,28	0,18
04B3B06	0,53	2,14	2,17	0,18
04B3B07	0,59	2,39	2,50	0,16
04B3B08	0,44	1,90	1,95	0,16
04B3B09	0,44	1,96	1,98	0,20
04B3B10	0,45	5,58	6,81	0,10
04B7B01	0,51	2,00	2,06	0,17
04B7B02	0,52	2,27	2,39	0,21
04B7B04	0,58	1,99	1,99	0,17
04B7B05	0,44	2,19	2,26	0,19
04B7B06	0,49	1,92	1,93	0,14
04B7B07	0,53	1,95	2,00	0,18
04B7B08	0,60	2,06	2,26	0,17
04B7B09	0,57	1,99	2,04	0,22
04B7B10	0,43	1,91	1,97	0,15
04B8B01	0,47	1,85	1,86	0,16
04B8B03	0,38	2,61	2,84	0,19
04B8B04	0,50	1,92	1,90	0,17
04B8B05	0,50	3,27	3,42	0,19
04B8B06	0,50	2,21	2,31	0,20
04B8B07	0,55	2,20	2,36	0,20
04B8B08	0,59	1,80	1,84	0,16
04B8B10	0,61	1,90	1,97	0,17
MÉDIA	0,61	2,23	2,33	0,18
DV	0,20	0,50	0,65	0,02
CV (%)	33	22	28	13
MÍNIMO	0,38	1,80	1,84	0,10
MÁXIMO	1,29	5,58	6,81	0,24
05B3AD01	0,80	2,42	2,70	0,21
05B3AD02	1,08	2,74	2,97	0,20
05B3AD03	0,83	1,71	1,68	0,26
05B3AD04	0,63	2,73	2,72	0,18
05B3AD05	0,65	2,44	2,65	0,18
05B3AD06	1,06	1,80	1,79	0,23
05B3AD07	1,28	2,29	2,47	0,19
05B3AD08	1,07	2,50	2,56	0,25
05B3AD09	0,71	2,43	2,67	0,21
05B3AD10	0,81	2,56	2,69	0,24
05B5AD01	0,67	1,93	4,43	0,19

05B5AD02	0,90	1,18	2,26	0,21
05B5AD03	0,60	1,63	2,73	0,20
05B5AD04	0,81	1,52	3,07	0,19
05B5AD05	0,86	0,51	1,99	0,22
05B5AD06	0,93	0,86	2,35	0,24
05B5AD07	0,84	1,09	2,31	0,18
05B5AD08	0,87	0,92	2,16	0,20
05B5AD09	0,73	1,83	4,64	0,18
05B5AD10	0,68	2,52	3,75	0,21
05B6AD01	0,69	2,86	3,09	0,22
05B6AD02	1,14	3,75	4,13	0,22
05B6AD03	0,93	2,98	3,00	0,24
05B6AD04	1,15	3,32	3,49	0,26
05B6AD05	0,94	2,63	2,64	0,25
05B6AD06	1,40	3,01	2,97	0,26
05B6AD07	0,87	2,89	2,87	0,28
05B6AD08	1,21	3,98	4,18	0,24
05B6AD09	1,44	2,88	3,05	0,24
05B6AD10	0,77	3,38	3,52	0,26
05B7AD01	1,32	2,00	2,01	0,20
05B7AD02	1,25	2,12	2,03	0,28
05B7AD03	1,04	1,90	1,85	0,22
05B7AD04	0,99	1,89	1,96	0,21
05B7AD06	1,47	2,18	2,13	0,20
05B7AD07	1,21	2,14	2,16	0,23
05B7AD08	1,08	2,63	2,66	0,25
05B7AD09	1,34	1,99	2,03	0,19
05B7AD10	1,07	2,29	2,24	0,24
05B8AD02	0,59	2,41	2,50	0,18
05B8AD03	0,70	2,32	2,37	0,20
05B8AD04	0,74	2,11	2,17	0,22
05B8AD05	0,69	1,90	1,94	0,22
05B8AD07	0,86	2,68	2,87	0,18
05B8AD08	0,69	2,24	2,19	0,31
05B8AD10	0,59	2,22	2,27	0,20
05B9AD01	0,56	1,91	1,90	0,22
05B9AD02	0,63	3,17	3,55	0,17
05B9AD03	0,68	1,87	1,80	0,23
05B9AD04	0,92	2,69	2,46	0,29
05B9AD05	0,80	1,81	1,76	0,25
05B9AD06	1,00	1,86	1,92	0,21
05B9AD07	1,03	2,66	2,86	0,20
05B9AD08	0,78	2,68	2,70	0,23
05B9AD09	0,67	2,98	3,23	0,20
05B9AD10	0,57	2,32	2,26	0,27

05B10AD01	0,47	1,94	1,98	0,25
05B10AD02	0,83	2,26	2,27	0,25
05B10AD03	0,62	2,08	2,16	0,22
05B10AD05	0,58	1,77	1,78	0,22
05B10AD06	0,59	1,93	2,03	0,23
05B10AD07	0,49	2,56	2,50	0,25
05B10AD08	0,44	4,50	4,92	0,24
05B10AD09	0,58	2,25	2,34	0,21
05B10AD10	0,53	2,02	1,92	0,30
05B8BD02	0,74	1,85	2,11	0,14
05B8BD03	0,84	1,63	1,66	0,22
05B8BD04	0,83	1,94	2,00	0,21
05B8BD05	0,99	2,11	2,34	0,19
05B8BD06	0,75	2,37	2,56	0,14
05B8BD07	0,78	2,09	2,20	0,15
05B8BD08	0,68	1,90	1,94	0,27
05B8BD09	0,87	1,73	1,75	0,18
05B8BD10	0,69	2,90	2,82	0,24
MÉDIA	0,85	2,27	2,55	0,22
DV	0,24	0,67	0,71	0,03
CV (%)	29	29	28	16
MÍNIMO	0,44	0,51	1,66	0,14
MÁXIMO	1,47	4,50	4,92	0,31

Tabela 69 - RAT Substratos Sh *versus* parâmetros de rugosidade.

Superfície	RAT (MPa)	Ra (µm)	Rvm (µm)	Amv (mm ²)
01B4B01	0,43	1,88	2,09	0,14
01B4B02	0,38	1,95	2,19	0,13
01B4B03	0,43	1,95	2,07	0,16
01B4B05	0,37	1,89	2,08	0,13
01B4B06	0,45	1,95	2,10	0,14
01B4B07	0,45	1,94	2,12	0,13
01B4B08	0,39	1,98	2,14	0,13
01B4B09	0,42	1,88	2,08	0,12
01B8B01	0,40	2,19	2,58	0,12
01B8B02	0,41	2,47	2,74	0,11
01B8B03	0,46	1,88	2,17	0,11
01B8B04	0,36	1,94	2,24	0,11
01B8B06	0,41	1,93	2,18	0,11
01B8B07	0,38	2,56	2,96	0,11

01B8B08	0,38	2,24	2,59	0,11
MÉDIA	0,41	2,04	2,29	0,12
DV	0,03	0,22	0,28	0,01
CV (%)	8	11	12	12
MÍNIMO	0,36	1,88	2,07	0,11
MÁXIMO	0,46	2,56	2,96	0,16
02B4B01	0,51	1,71	1,82	0,14
02B4B02	0,44	3,20	3,53	0,13
02B4B03	0,63	2,57	3,00	0,13
02B4B04	0,77	4,87	5,31	0,14
02B4B05	0,75	2,25	2,53	0,14
02B4B06	0,91	3,77	4,12	0,14
02B4B07	0,50	2,42	2,76	0,14
02B4B08	0,75	3,64	3,79	0,14
02B4B09	0,91	2,52	2,96	0,13
02B4B10	0,72	2,96	3,34	0,14
02B9B01	0,36	2,50	2,85	0,13
02B9B02	0,41	1,90	2,06	0,12
02B9B03	0,29	1,75	1,90	0,13
02B9B04	0,34	1,89	1,97	0,15
02B9B05	0,35	1,79	1,86	0,12
02B9B06	0,38	1,82	1,88	0,15
02B9B07	0,46	1,74	1,86	0,12
02B9B08	0,60	1,80	1,91	0,14
02B9B09	0,58	1,79	1,84	0,15
02B9B10	0,76	1,76	1,86	0,15
MÉDIA	0,57	2,43	2,66	0,14
DV	0,19	0,86	0,97	0,01
CV (%)	34	36	36	7
MÍNIMO	0,29	1,71	1,82	0,12
MÁXIMO	0,91	4,87	5,31	0,15
03B2B01	0,51	1,97	2,22	0,09
03B2B02	0,51	2,37	2,56	0,11
03B2B03	0,56	1,56	1,82	0,10
03B2B04	0,54	0,95	1,10	0,13
03B2B05	0,54	1,68	1,82	0,12
03B2B06	0,60	1,46	1,88	0,07
03B2B07	0,63	0,99	1,19	0,10
03B2B08	0,55	0,70	0,91	0,08
03B2B09	0,47	1,46	1,64	0,10
03B2B10	0,67	0,65	0,83	0,08
03B10B01	0,61	0,58	0,72	0,09
03B10B02	0,79	0,75	0,87	0,11

03B10B03	0,64	1,47	1,84	0,11
03B10B04	0,67	0,85	1,09	0,09
03B10B05	0,99	2,86	2,97	0,19
03B10B06	1,23	0,56	0,69	0,08
03B10B07	0,58	1,65	1,93	0,14
03B10B08	0,54	0,57	0,71	0,10
03B10B09	0,60	0,53	0,68	0,08
03B10B10	0,64	1,12	1,30	0,10
MÉDIA	0,64	1,24	1,44	0,10
DV	0,18	0,65	0,67	0,03
CV (%)	28	53	47	25
MÍNIMO	0,47	0,53	0,68	0,07
MÁXIMO	1,23	2,86	2,97	0,19
04B3A01	0,61	2,85	3,28	0,20
04B3A02	0,48	2,58	2,76	0,19
04B3A03	0,47	2,76	3,05	0,16
04B3A04	0,61	1,88	1,94	0,19
04B3A05	0,67	1,94	1,99	0,17
04B3A06	0,66	2,10	2,28	0,20
04B3A07	0,65	3,17	3,34	0,17
04B3A08	0,48	3,60	4,30	0,16
04B3A09	0,60	1,96	2,08	0,15
04B3A10	0,47	1,96	2,02	0,19
04B8A01	0,85	2,20	2,31	0,17
04B8A02	0,84	2,71	3,05	0,18
04B8A03	0,71	2,35	2,66	0,16
04B8A04	0,61	2,18	2,33	0,14
04B8A05	0,92	1,88	1,95	0,18
04B8A06	0,62	1,79	1,83	0,18
04B8A07	0,87	1,78	1,81	0,19
04B8A08	0,53	2,26	2,29	0,18
04B8A09	0,43	2,12	2,23	0,20
04B8A10	0,52	2,32	2,48	0,21
MÉDIA	0,63	2,32	2,50	0,18
DV	0,15	0,49	0,64	0,02
CV (%)	23	21	25	10
MÍNIMO	0,43	1,78	1,81	0,14
MÁXIMO	0,92	3,60	4,30	0,21
05B6BD01	0,61	1,93	1,90	0,21
05B6BD02	0,67	3,04	3,31	0,21
05B6BD03	0,49	2,97	3,06	0,19
05B6BD04	0,62	1,62	1,58	0,22
05B6BD05	0,47	1,45	1,61	0,18

05B6BD08	0,44	2,08	2,13	0,21
05B6BD09	0,57	1,76	1,82	0,17
05B6BD10	0,51	1,54	1,51	0,21
05B9BD01	0,64	2,92	3,09	0,19
05B9BD02	0,57	3,28	3,36	0,27
05B9BD03	0,70	3,14	3,09	0,29
05B9BD04	0,92	2,54	2,69	0,18
05B9BD05	0,66	1,87	1,93	0,22
05B9BD06	0,61	3,23	3,48	0,23
05B9BD08	0,74	3,94	4,07	0,24
05B9BD09	0,71	2,08	2,11	0,25
05B9BD10	0,68	2,69	2,72	0,21
MÉDIA	0,62	2,47	2,56	0,22
DV	0,12	0,74	0,79	0,03
CV (%)	19	30	31	15
MÍNIMO	0,44	1,45	1,51	0,17
MÁXIMO	0,92	3,94	4,07	0,29

APÊNDICE I - HISTOGRAMAS - PRIMEIRA ETAPA

Tabela 70 - Histogramas Rvm – substratos Ch

Substratos 1	Frequência	Substratos 2	Frequência	Substratos 3	Frequência
0,74	0	0,74	0	0,74	0
1,95	23	1,95	21	1,95	10
1,95	0	1,95	0	1,95	0
3,17	40	3,17	33	3,17	58
3,17	0	3,17	0	3,17	0
4,38	4	4,38	9	4,38	1
4,38	0	4,38	0	4,38	0
5,59	1	5,59	4	5,59	0
5,59	0	5,59	0	5,59	0
6,81	0	6,81	0	6,81	1
Mais	0	Mais	0	Mais	0
	68,00		67,00		70,00

Substratos 4	Frequência	Substratos 5	Frequência
0,74	0	0,74	1
1,95	13	1,95	52
1,95	0	1,95	0
3,17	51	3,17	10
3,17	0	3,17	0
4,38	7	4,38	5
4,38	0	4,38	0
5,59	3	5,59	0
5,59	0	5,59	0
6,81	0	6,81	0
Mais	0	Mais	0
	74,00		68,00

Tabela 71 - Histogramas Amv – substratos Ch

Substratos 1	Frequência	Substratos 2	Frequência	Substratos 3	Frequência
0,06	0	0,06	0	0,06	0
0,11	20	0,11	3	0,11	1
0,11	0	0,11	0	0,11	0
0,16	47	0,16	58	0,16	15
0,16	0	0,16	0	0,16	0
0,21	1	0,21	6	0,21	51
0,21	0	0,21	0	0,21	0
0,26	0	0,26	0	0,26	3
0,26	0	0,26	0	0,26	0
0,31	0	0,31	0	0,31	0
Mais	0	Mais	0	Mais	0
	68,00		67,00		70,00

Substratos 4	Frequência	Substratos 5	Frequência
0,06	0	0,06	1
0,11	0	0,11	56
0,11	0	0,11	0
0,16	3	0,16	9
0,16	0	0,16	0
0,21	30	0,21	2
0,21	0	0,21	0
0,26	34	0,26	0
0,26	0	0,26	0
0,31	7	0,31	0
Mais	0	Mais	0
	74,00		68,00

Tabela 72 - Histogramas de Rvm – Substratos Sh.

Substratos 1	Frequência	Substratos 2	Frequência	Substratos 3	Frequência
0,73	0	0,73	0	0,73	4
1,95	0	1,95	8	1,95	13
1,95	0	1,95	0	1,95	0
3,16	15	3,16	7	3,16	3
3,16	0	3,16	0	3,16	0
4,38	0	4,38	4	4,38	0
4,38	0	4,38	0	4,38	0
5,59	0	5,59	1	5,59	0
5,59	0	5,59	0	5,59	0
6,81	0	6,81	0	6,81	0
Mais	0	Mais	0	Mais	0
	15		20		20

Substratos 4	Frequência	Substratos 5	Frequência
0,73	0	0,73	0
1,95	4	1,95	6
1,95	0	1,95	0
3,16	13	3,16	7
3,16	0	3,16	0
4,38	3	4,38	4
4,38	0	4,38	0
5,59	0	5,59	0
5,59	0	5,59	0
6,81	0	6,81	0
Mais	0	Mais	0
	20		17

Tabela 73 - Histogramas de Amv - Substratos Sh.

Substratos 1	Frequência	Substratos 2	Frequência	Substratos 3	Frequência
0,06	0	0,06	0	0,06	0
0,11	2	0,11	0	0,11	15
0,11	0	0,11	0	0,11	0
0,16	13	0,16	20	0,16	4
0,16	0	0,16	0	0,16	0
0,21	0	0,21	0	0,21	1
0,21	0	0,21	0	0,21	0
0,26	0	0,26	0	0,26	0
0,26	0	0,26	0	0,26	0
0,31	0	0,31	0	0,31	0
Mais	0	Mais	0	Mais	0
	15		20		20

Substratos 4	Frequência	Substratos 5	Frequência
0,73	0	0,73	0
1,95	4	1,95	6
1,95	0	1,95	0
3,16	13	3,16	7
3,16	0	3,16	0
4,38	3	4,38	4
4,38	0	4,38	0
5,59	0	5,59	0
5,59	0	5,59	0
6,81	0	6,81	0
Mais	0	Mais	0
	20		17

APÊNDICE J - TESTES Z - PRIMEIRA ETAPA

Tabela 74 - Teste Z - Rvm - Substratos Ch

Teste-z: duas amostras para médias											
	Variável 1	Variável 2									
Média	2,56155	2,320869	Média	1,457784	2,320869	Média	2,320869	2,334216	Média	2,548305	2,320869
Variância	0,67	0,44	Variância	0,68	0,44	Variância	0,44	0,42	Variância	0,5	0,44
Observaç	67	68	Observaç	68	68	Observaç	68	70	Observaç	74	68
Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0	
z	1,8754		z	-6,7251		z	-0,11952		z	1,9775	
P(Z<=z) ur	0,030371		P(Z<=z) ur	8,77E-12		P(Z<=z) ur	0,452433		P(Z<=z) ur	0,023991	
z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi	0,060743		P(Z<=z) bi	1,75E-11		P(Z<=z) bi	0,904866		P(Z<=z) bi	0,047982	
z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2									
Média	1,457784	2,56155	Média	2,56155	2,334216	Média	2,56155	2,548305	Média	2,56155	2,548305
Variância	0,68	0,67	Variância	0,67	0,42	Variância	0,67	0,5	Variância	0,67	0,5
Observaç	68	67	Observaç	67	70	Observaç	67	74	Observaç	67	74
Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0	
z	-7,8048		z	1,79723		z	0,102317		z	0,102317	
P(Z<=z) ur	3E-15		P(Z<=z) ur	0,03615		P(Z<=z) ur	0,459252		P(Z<=z) ur	0,459252	
z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi	6E-15		P(Z<=z) bi	0,072299		P(Z<=z) bi	0,918505		P(Z<=z) bi	0,918505	
z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2									
Média	1,457784	2,334216	Média	1,457784	2,548305	Média	2,548305	2,334216	Média	2,548305	2,334216
Variância	0,68	0,42	Variância	0,68	0,5	Variância	0,5	0,42	Variância	0,5	0,42
Observaç	68	70	Observaç	68	74	Observaç	74	70	Observaç	74	70
Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0	
z	-6,928802		z	-8,4244		z	1,8955		z	1,8955	
P(Z<=z) ur	2,12E-12		P(Z<=z) ur	0		P(Z<=z) ur	0,029013		P(Z<=z) ur	0,029013	
z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi	4,24E-12		P(Z<=z) bi	0		P(Z<=z) bi	0,058026		P(Z<=z) bi	0,058026	
z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964	

Tabela 75 - Teste Z - Amv - Substratos Ch

Teste-z: duas amostras para médias											
	Variável 1	Variável 2									
Média	0,1395	0,123746	Média	0,098972	0,123746	Média	0,17833571	0,123746	Média	0,220519	0,123746
Variância	0,000223	0,000214	Variância	0,000727	0,000214	Variância conhe	0,00055	0,000214	Variância	0,001216	0,000214
Observaç	67	68	Observaç	68	68	Observações	70	68	Observaç	74	68
Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese da dife	0		Hipótese	0	
z	6,191107		z	-6,65959		z	16,4563997		z	21,87031	
P(Z<=z) ur	2,99E-10		P(Z<=z) ur	1,37E-11		P(Z<=z) uni-caud	0		P(Z<=z) ur	0	
z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico uni-caud	1,64485363		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi	5,97E-10		P(Z<=z) bi	2,75E-11		P(Z<=z) bi-caud	0		P(Z<=z) bi	0	
z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi-caud	1,95996398		z crítico bi	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2									
Média	0,098972	0,1395	Média	0,178336	0,1395	Média	0,22051892	0,1395	Média	0,22051892	0,1395
Variância	0,000727	0,000223	Variância	0,00055	0,000223	Variância conhe	0,001216	0,000223	Variância	0,001216	0,000223
Observaç	68	67	Observaç	70	67	Observações	74	67	Observaç	74	67
Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese da dife	0		Hipótese	0	
z	-10,824		z	11,61191		z	18,2257029		z	18,2257029	
P(Z<=z) ur	0		P(Z<=z) ur	0		P(Z<=z) uni-caud	0		P(Z<=z) ur	0	
z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico uni-caud	1,64485363		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi	0		P(Z<=z) bi	0		P(Z<=z) bi-caud	0		P(Z<=z) bi	0	
z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi-caud	1,95996398		z crítico bi	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2									
Média	0,178336	0,098972	Média	0,220519	0,098972	Média	0,22051892	0,178336	Média	0,22051892	0,178336
Variância	0,000727	0,00055	Variância	0,001216	0,000727	Variância conhe	0,001216	0,00055	Variância	0,001216	0,00055
Observaç	70	68	Observaç	74	68	Observações	74	70	Observaç	74	70
Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese da dife	0		Hipótese	0	
z	18,46468		z	23,33834		z	8,55912973		z	8,55912973	
P(Z<=z) ur	0		P(Z<=z) ur	0		P(Z<=z) uni-caud	0		P(Z<=z) ur	0	
z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico uni-caud	1,64485363		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi	0		P(Z<=z) bi	0		P(Z<=z) bi-caud	0		P(Z<=z) bi	0	
z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi-caud	1,95996398		z crítico bi	1,959964	

Tabela 76 - Testes Z Rvm - Substratos Sh.

Teste-z: duas amostras para médias											
	1,815328	2,091313		2,223656	2,091313		3,280391	2,091313		1,901141	2,091313
Média	2,70335	2,301702	Média	1,397854	2,301702	Média	2,45675	2,301702	Média	2,597323	2,301702
Variância conf	0,94	0,08	Variância	0,45	0,08	Variância	0,41	0,08	Variância	0,62	0,08
Observações	19	14	Observaçõ	19	14	Observaçõ	19	14	Observaçõ	16	14
Hipótese da d	0		Hipótese e	0		Hipótese e	0		Hipótese e	0	
z	1,709712		z	-5,27148		z	0,938509		z	1,401942	
P(Z<=z) uni-ca	0,04366		P(Z<=z) ur	6,77E-08		P(Z<=z) ur	0,173991		P(Z<=z) ur	0,080466	
z crítico uni-ca	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi-cau	0,087319		P(Z<=z) bi	1,35E-07		P(Z<=z) bi	0,347983		P(Z<=z) bi	0,160933	
z crítico bi-cau	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias					
	1,815328	2,223656		1,815328	3,280391		1,815328	1,901141			
Média	2,70335	1,397854	Média	2,70335	2,45675	Média	2,70335	2,597323			
Variância conf	0,94	0,45	Variância	0,94	0,41	Variância	0,94	0,62			
Observações	19	19	Observaçõ	19	19	Observaçõ	19	16			
Hipótese da d	0		Hipótese e	0		Hipótese e	0				
z	4,826637		z	0,925129		z	0,356961				
P(Z<=z) uni-ca	6,94E-07		P(Z<=z) ur	0,17745		P(Z<=z) ur	0,36056				
z crítico uni-ca	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854				
P(Z<=z) bi-cau	1,39E-06		P(Z<=z) bi	0,354899		P(Z<=z) bi	0,721121				
z crítico bi-cau	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964				
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias					
	2,223656	3,280391		1,901141	2,223656		1,901141	3,280391			
Média	1,397854	2,45675	Média	2,597323	1,397854	Média	2,597323	2,45675			
Variância conf	0,45	0,41	Variância	0,62	0,45	Variância	0,62	0,41			
Observações	19	19	Observaçõ	16	19	Observaçõ	16	19			
Hipótese da d	0		Hipótese e	0		Hipótese e	0				
z	-4,97715		z	4,800402		z	0,572321				
P(Z<=z) uni-ca	3,23E-07		P(Z<=z) ur	7,92E-07		P(Z<=z) ur	0,283552				
z crítico uni-ca	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854				
P(Z<=z) bi-cau	6,45E-07		P(Z<=z) bi	1,58E-06		P(Z<=z) bi	0,567104				
z crítico bi-cau	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964				

Tabela 77 - Testes Z Amv - Substratos Sh

Teste-z: duas amostras para médias											
	Variável 1	Variável 2									
Média	0,123353	0,13703	Média	0,10271	0,123353	Média	0,17883	0,123353	Média	0,216682	0,123353
Variância conhecida	0,0002	0,0001	Variância conhecida	0,0007	0,0002	Variância	0,0003	0,0002	Variância	0,001	0,0002
Observações	15	20	Observações	20	15	Observações	20	15	Observações	17	15
Hipótese da diferença	0		Hipótese da diferença	0		Hipótese da diferença	0		Hipótese da diferença	0	
z	-3,19418		z	-2,96932		z	10,42225		z	10,98697	
P(Z<=z) uni-caudal	0,000701		P(Z<=z) uni-caudal	0,001492		P(Z<=z) uni-caudal	0		P(Z<=z) uni-caudal	0	
z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico uni-caudal	1,644854	
P(Z<=z) bi-caudal	0,001402		P(Z<=z) bi-caudal	0,002985		P(Z<=z) bi-caudal	0		P(Z<=z) bi-caudal	0	
z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi-caudal	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2									
Média	0,10271	0,13703	Média	0,17883	0,13703	Média	0,216682	0,13703	Média	0,216682	0,13703
Variância conhecida	0,0007	0,0001	Variância conhecida	0,0003	0,0001	Variância	0,001	0,0001	Variância	0,001	0,0001
Observações	20	20	Observações	20	20	Observações	17	20	Observações	17	20
Hipótese da diferença	0		Hipótese da diferença	0		Hipótese da diferença	0		Hipótese da diferença	0	
z	-5,42647		z	9,346764		z	9,970299		z	9,970299	
P(Z<=z) uni-caudal	2,87E-08		P(Z<=z) uni-caudal	0		P(Z<=z) uni-caudal	0		P(Z<=z) uni-caudal	0	
z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico uni-caudal	1,644854	
P(Z<=z) bi-caudal	5,75E-08		P(Z<=z) bi-caudal	0		P(Z<=z) bi-caudal	0		P(Z<=z) bi-caudal	0	
z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi-caudal	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2									
Média	0,10271	0,17883	Média	0,216682	0,10271	Média	0,216682	0,17883	Média	0,216682	0,17883
Variância conhecida	0,0007	0,0003	Variância conhecida	0,001	0,0007	Variância	0,001	0,0003	Variância	0,001	0,0003
Observações	20	20	Observações	17	20	Observações	17	20	Observações	17	20
Hipótese da diferença	0		Hipótese da diferença	0		Hipótese da diferença	0		Hipótese da diferença	0	
z	-10,765		z	11,7664		z	4,405503		z	4,405503	
P(Z<=z) uni-caudal	0		P(Z<=z) uni-caudal	0		P(Z<=z) uni-caudal	5,28E-06		P(Z<=z) uni-caudal	5,28E-06	
z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico uni-caudal	1,644854	
P(Z<=z) bi-caudal	0		P(Z<=z) bi-caudal	0		P(Z<=z) bi-caudal	1,06E-05		P(Z<=z) bi-caudal	1,06E-05	
z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi-caudal	1,959964	

APÊNDICE K - CÁLCULO DAS RAT - SEGUNDA ETAPA

Tabela 78 - Cálculo de RAT. Superfícies Ch.

Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)
01A1B01	10,77	10,77	115,99	72,83	0,63
01A1B02	10,70	10,97	117,38	74,20	0,63
01A1B03	10,74	10,65	114,38	59,33	0,52
01A1B04	10,77	10,61	114,27	61,58	0,54
01A1B05					
01A1B06	10,79	10,72	115,67	80,91	0,70
01A1B07	10,94	10,76	117,71	80,00	0,68
01A1B08	10,87	10,70	116,31	54,80	0,47
01A1B09	10,83	10,76	116,53	59,61	0,51
01A1B10					
01B3A01					
01B3A02	10,56	10,52	111,09	45,03	0,41
01B3A03	10,65	10,63	113,21	44,25	0,39
01B3A04					
01B3A05					
01B3A06	10,65	10,61	113,00	52,41	0,46
01B3A07	10,59	10,69	113,21	51,30	0,45
01B3A08	10,54	10,51	110,78	49,48	0,45
01B3A09	10,88	10,72	116,63	50,34	0,43
01B3A10	10,60	10,60	112,36	52,77	0,47
01B4A01					
01B4A02					
01B4A03					
01B4A04	11,07	11,02	121,99	89,04	0,73
01B4A05	11,04	10,95	120,89	114,26	0,95
01B4A06					
01B4A07	10,89	10,87	118,37	110,13	0,93
01B4A08					
01B4A09	11,05	11,04	121,99	138,59	1,14
01B4A10	11,04	11,04	121,88	100,25	0,82
01B5A01					
01B5A02	10,69	10,85	115,99	79,18	0,68
01B5A03	10,62	10,61	112,68	78,04	0,69
01B5A04	10,50	10,60	111,30	82,87	0,74
01B5A05	10,57	10,57	111,72	81,73	0,73
01B5A06					
01B5A07					
01B5A08					
01B5A09	10,84	10,80	117,07	78,69	0,67

01B5A10	10,57	10,98	116,06	56,67	0,49
01B6A01	10,60	10,35	109,71	40,35	0,37
01B6A02					
01B6A03					
01B6A04	10,72	10,34	110,84	53,38	0,48
01B6A05	10,31	10,59	109,18	45,45	0,42
01B6A06	10,32	10,34	106,71	46,53	0,44
01B6A07					
01B6A08					
01B6A09					
01B6A10					
01B9A01					
01B9A02					
01B9A03	10,89	10,45	113,80	57,95	0,51
01B9A04	10,60	10,38	110,03	47,31	0,43
01B9A05			0,00		
01B9A06	10,41	10,72	111,60	56,73	0,51
01B9A07			0,00		
01B9A08	10,44	10,48	109,41	67,51	0,62
01B9A09	10,45	10,52	109,93	65,03	0,59
01B9A10					
01B10A01	10,69	10,63	113,63	93,39	0,82
01B10A02	10,74	10,50	112,77	81,51	0,72
01B10A03	10,59	10,59	112,15	77,38	0,69
01B10A04	10,46	10,64	111,29	88,75	0,80
01B10A05	10,61	10,53	111,72	87,41	0,78
01B10A06	10,46	10,61	110,98	76,84	0,69
01B10A07	10,66	10,69	113,96	94,21	0,83
01B10A08	11,17	10,68	119,30	89,41	0,75
01B10A09	10,59	10,64	112,68	73,98	0,66
01B10A10	10,68	10,61	113,31	75,29	0,66
Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
01B3B01					
01B3B02			-		
01B3B03			-		
01B3B04	11,92	11,39	135,77	48,00	0,35
01B3B05	11,07	11,04	122,21	57,00	0,47
01B3B06	11,19	11,19	125,22	67,00	0,54
01B3B07	10,83	11,29	122,27	66,00	0,54
01B3B08	11,00	11,05	121,55	69,00	0,57
01B3B09	10,96	10,95	120,01	49,00	0,41
01B3B10	10,85	10,86	117,83	55,00	0,47
01B5B01	10,75	10,54	113,31	96,40	0,85

01B5B02	10,61	10,36	109,92	88,24	0,80
01B5B03	10,75	10,58	113,74	71,50	0,63
01B5B04	10,72	10,37	111,17	72,75	0,65
01B5B05	10,86	10,64	115,55	70,56	0,61
01B5B06	10,78	10,69	115,24	75,63	0,66
01B5B07	10,78	10,65	114,81	80,90	0,70
01B5B08	10,66	10,61	113,10	79,68	0,70
01B5B09	10,73	10,47	112,34	67,30	0,60
01B5B10	10,58	10,44	110,46	66,35	0,60
01B7B01	10,72	10,69	114,60	72,23	0,63
01B7B02	10,23	10,30	105,37	67,48	0,64
01B7B03	10,68	10,34	110,43	79,75	0,72
01B7B04	10,67	10,75	114,70	75,75	0,66
01B7B05	10,69	10,61	113,42	76,73	0,68
01B7B06	10,63	10,55	112,15	77,18	0,69
01B7B07	10,44	10,45	109,10	74,89	0,69
01B7B08	10,67	10,65	113,64	74,68	0,66
01B7B09	10,74	10,81	116,10	75,54	0,65
01B7B10	10,68	10,45	111,61	64,20	0,58
01B10B01	10,66	10,64	113,42	58,00	0,51
01B10B02	10,32	10,58	109,19	63,99	0,59
01B10B03	10,68	10,90	116,41	82,43	0,71
01B10B04	10,57	10,79	114,05	73,36	0,64
01B10B05	10,94	10,81	118,26	77,60	0,66
01B10B06	10,59	10,73	113,63	66,46	0,58
01B10B07	10,60	10,50	111,30	58,39	0,52
01B10B08	10,70	10,63	113,74	84,11	0,74
01B10B09	10,72	10,79	115,67	73,15	0,63
01B10B10	10,67	10,64	113,53	68,92	0,61
Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
02B6A01	10,63	10,53	111,93	81,73	0,73
02B6A02	10,7	10,59	113,31	64,20	0,57
02B6A03					
02B6A04	10,47	10,32	108,05	85,27	0,79
02B6A05					
02B6A06	10,75	10,37	111,48	52,31	0,47
02B6A07	10,61	10,45	110,87	55,98	0,50
02B6A08	10,53	10,47	110,25	46,67	0,42
02B6A09	10,54	10,49	110,56	76,66	0,69
02B6A10	10,73	10,64	114,17	71,35	0,62
02B7A01					
02B7A02	10,65	10,96	116,72	94,04	0,81
02B7A03	10,81	10,9	117,83	85,48	0,73
02B7A04	10,88	10,86	118,16	71,21	0,60

02B7A05	10,64	10,62	113,00	83,66	0,74
02B7A06	10,83	10,98	118,91	77,99	0,66
02B7A07	10,87	10,81	117,50	68,24	0,58
02B7A08	10,82	10,82	117,07	75,23	0,64
02B7A09					
02B7A10	10,89	10,68	116,31	85,6	0,74
02B8A01	11,37	11,29	128,37	44,23	0,34
02B8A02					
02B8A03	11,33	10,94	123,95	50,00	0,40
02B8A04	11,25	11,18	125,78	42,4	0,34
02B8A05					
02B8A06					
02B8A07	11,25	10,93	122,96	31,64	0,26
02B8A08	11,25	11,19	125,89	37	0,29
02B8A09	11,25	11,13	125,21	33,67	0,27
02B8A10	10,96	10,95	120,01	37,93	0,32
02B10A01					
02B10A02					
02B10A03	10,68	10,69	114,17	51,17	0,45
02B10A04					
02B10A05					
02B10A06					
02B10A07					
02B10A08	10,68	10,31	110,11	52,53	0,48
02B10A09	10,8	10,73	115,88	52,28	0,45
02B10A10					

Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
02B1B01	11,03	10,77	118,79	75,89	0,64
02B1B02	10,86	10,84	117,72	73,08	0,62
02B1B03	10,89	10,80	117,61	74,10	0,63
02B1B04	10,71	10,78	115,45	79,18	0,69
02B1B05	10,89	10,80	117,61	81,03	0,69
02B1B06	10,96	10,77	118,04	67,00	0,57
02B1B07	11,12	10,78	119,87	73,69	0,61
02B1B08	10,96	10,83	118,70	72,90	0,61
02B1B09	10,61	10,97	116,39	69,63	0,60
02B1B10	10,59	10,91	115,54	70,80	0,61
02B3B01	10,58	10,66	112,78	87,39	0,77
02B3B02	11,10	10,74	119,21	90,21	0,76
02B3B03	11,13	10,81	120,32	73,95	0,61
02B3B04	11,04	10,87	120,00	80,00	0,67
02B3B05	10,83	10,66	115,45	88,40	0,77

02B3B06	10,84	10,70	115,99	77,67	0,67
02B3B07	10,65	10,68	113,74	65,94	0,58
02B3B08	11,65	10,82	126,05	68,61	0,54
02B3B09	10,73	10,65	114,27	80,00	0,70
02B3B10	10,80	10,72	115,78	84,86	0,73
02B7B01	11,35	11,14	126,44	85,84	0,68
02B7B02	11,19	10,86	121,52	105,39	0,87
02B7B03	11,14	10,76	119,87	83,61	0,70
02B7B04	11,15	11,05	123,21	79,42	0,64
02B7B05	10,89	10,85	118,16	79,27	0,67
02B7B06	11,09	10,98	121,77	87,24	0,72
02B7B07	11,32	10,85	122,82	87,48	0,71
02B7B08	10,90	10,70	116,63	74,23	0,64
02B7B09					
02B7B10					
02B8B01	10,80	10,80	116,64	77,24	0,66
02B8B02	10,88	10,81	117,61	76,62	0,65
02B8B03	10,89	10,75	117,07	81,97	0,70
02B8B04	10,92	10,77	117,61	79,09	0,67
02B8B05	10,85	10,77	116,85	88,08	0,75
02B8B06	10,76	11,13	119,76	89,27	0,75
02B8B07	10,93	10,85	118,59	84,66	0,71
02B8B08					
02B8B09	11,01	10,77	118,58	78,37	0,66
02B8B10					
02B10B01	11,06	11,03	121,99	57,38	0,47
02B10B02	10,90	10,89	118,70	63,85	0,54
02B10B03	11,00	10,93	120,23	57,64	0,48
02B10B04	11,03	10,88	120,01	57,33	0,48
02B10B05					
02B10B06	10,85	10,89	118,16	59,45	0,50
02B10B07	11,21	11,00	123,31	61,96	0,50
02B10B08	10,95	10,96	120,01	71,77	0,60
02B10B09					
02B10B10	10,93	10,80	118,04	66,93	0,57

Superficies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
03B3A01	11,21	10,74	120,40	47,75	0,40
03B3A02	10,94	10,81	118,26	51,19	0,43
03B3A03					
03B3A04					
03B3A05					
03B3A06					
03B3A07					

03B3A08	10,88	10,85	118,05	47,24	0,40
03B3A09	10,82	10,73	116,10	52,35	0,45
03B3A10					
03B5A01	10,59	10,56	111,83	133,22	1,19
03B5A02	10,56	10,61	112,04		
03B5A03	10,37	10,34	107,23	83,81	0,78
03B5A04	10,77	10,34	111,36	80,96	0,73
03B5A05					
03B5A06	10,67	10,45	111,50	137,89	1,24
03B5A07	10,82	10,89	117,83	96,42	0,82
03B5A08	10,82	10,91	118,05	62,23	0,53
03B5A09	10,48	10,32	108,15	122,72	1,13
03B5A10	10,58	10,94	115,75	100,25	0,87
03B6A01	10,76	10,76	115,78	84,77	0,73
03B6A02	10,79	10,70	115,45	95,90	0,83
03B6A03	10,92	10,91	119,14	101,42	0,85
03B6A04	10,86	10,84	117,72	67,85	0,58
03B6A05					
03B6A06	10,91	10,70	116,74	55,12	0,47
03B6A07	11,00	11,05	121,55	79,43	0,65
03B6A08	11,18	10,98	122,76	120,59	0,98
03B6A09	10,79	10,79	116,42	107,24	0,92
03B6A10	10,88	10,86	118,16	65,83	0,56
Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
03B1B01	11,09	10,95	121,44	65,75	0,54
03B1B02	10,35	10,64	110,12	68,05	0,62
03B1B03	10,95	11,21	122,75	74,87	0,61
03B1B04	10,74	10,80	115,99	115,53	1,00
03B1B05	10,77	10,69	115,13	89,40	0,78
03B1B06	10,93	10,59	115,75	72,96	0,63
03B1B07	10,51	10,39	109,20	63,02	0,58
03B1B08	10,68	10,65	113,74	36,16	0,32
03B1B09	10,47	10,63	111,30	64,20	0,58
03B1B10	10,40	10,46	108,78	44,48	0,41
03B3B01	11,35	11,19	127,01	69,05	0,54
03B3B02	11,36	11,19	127,12	69,05	0,54
03B3B03					
03B3B04					
03B3B05	11,38	11,24	127,91	65,70	0,51
03B3B06	11,26	11,25	126,68	68,37	0,54
03B3B07	11,36	11,25	127,80	70,15	0,55
03B3B08					
03B3B09					
03B3B10	11,37	11,27	128,14	96,98	0,76
03B5B01	10,80	10,74	115,99	60,50	0,52
03B5B02	10,85	10,66	115,66	57,27	0,50

03B5B03	10,73	10,71	114,92	45,50	0,40
03B5B04					
03B5B05	10,33	10,30	106,40	85,62	0,80
03B5B06	10,35	10,35	107,12	87,31	0,82
03B5B07	10,88	10,76	117,07	49,83	0,43
03B5B08	10,85	10,80	117,18	52,16	0,45
03B5B09	10,64	10,98	116,83	47,46	0,41
03B5B10	10,88	10,82	117,72	55,05	0,47
03B6B01	11,10	11,08	122,99	119,10	0,97
03B6B02	11,30	11,10	125,43	149,74	1,19
03B6B03	11,17	11,13	124,32	163,97	1,32
03B6B04	11,09	11,07	122,77	129,85	1,06
03B6B05					
03B6B06	11,10	11,16	123,88	179,51	1,45
03B6B07	11,16	11,02	122,98	174,34	1,42
03B6B08	11,24	11,21	126,00	139,46	1,11
03B6B09	11,57	11,18	129,35	98,40	0,76
03B6B10	10,88	10,86	118,16	132,49	1,12
03B7B01	11,16	10,83	120,86	72,00	0,60
03B7B02	11,10	11,01	122,21	92,00	0,75
03B7B03	11,02	11,24	123,86	55,00	0,44
03B7B04	11,49	11,13	127,88	71,00	0,56
03B7B05	10,98	10,98	120,56	58,00	0,48
03B7B06	11,04	11,28	124,53	93,00	0,75
03B7B07	11,08	11,07	122,66	57,00	0,46
03B7B08	11,38	10,97	126,78	118,40	0,93
03B7B09	11,23	11,09	124,54	80,00	0,64
03B7B10	11,25	11,19	125,89	167,98	1,33
03B9B01	10,73	10,67	114,49	152,27	1,33
03B9B02	10,91	10,74	117,17	165,05	1,41
03B9B03					
03B9B04	10,87	10,77	117,07	128,68	1,10
03B9B05					
03B9B06	10,76	10,67	114,81	136,32	1,19
03B9B07	10,83	10,71	115,99	83,12	0,72
03B9B08	10,87	10,71	116,42	78,67	0,68
03B9B09					
03B9B10	10,84	10,74	116,42	140,86	1,21

Superficies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
04B1A01	10,79	10,85	117,07	62,67	0,54
04B1A02	10,62	10,81	114,80	51,36	0,45
04B1A03	10,89	10,89	118,59	50,26	0,42
04B1A04	10,93	10,87	118,81	53,31	0,45
04B1A05					
04B1A06	10,70	10,78	115,35	56,00	0,49

04B1A07	10,77	10,94	117,82	54,85	0,47
04B1A08	10,91	10,89	118,81	49,34	0,42
04B1A09	10,85	11,07	120,11	47,13	0,39
04B1A10	10,87	11,05	120,11	48,51	0,40
04B5A01					
04B5A02	11,31	11,15	126,11	91,09	0,72
04B5A03					
04B5A04	11,37	11,00	125,07	80,94	0,65
04B5A05	11,23	11,19	125,66	103,57	0,82
04B5A06	11,13	11,41	126,99	80,67	0,64
04B5A07	11,63	11,55	134,33	94,77	0,71
04B5A08	11,38	11,30	128,59	90,23	0,70
04B5A09	11,19	11,45	128,13	85,22	0,67
04B5A10	11,38	11,32	128,82	120,64	0,94
04B7A01	11,01	11,02	121,33	90,54	0,75
04B7A02	10,87	10,77	117,07	131,00	1,12
04B7A03	10,85	10,84	117,61	98,88	0,84
04B7A04	10,91	10,85	118,37	133,55	1,13
04B7A05	10,86	10,75	116,75	151,17	1,29
04B7A06	11,16	10,75	119,97	141,06	1,18
04B7A07	10,90	10,85	118,27	113,35	0,96
04B7A08	10,90	10,88	118,59	131,59	1,11
04B7A09	10,71	10,72	114,81	102,66	0,89
04B7A10	10,98	10,94	120,12	107,74	0,90
04B9A01	10,55	10,85	114,47	65,55	0,57
04B9A02	10,78	10,77	116,10	68,62	0,59
04B9A03	10,94	10,80	118,15	62,48	0,53
04B9A04	10,74	10,96	117,71	63,65	0,54
04B9A05					
04B9A06	10,95	10,81	118,37	67,67	0,57
04B9A07					
04B9A08	10,79	10,74	115,88	61,62	0,53
04B9A09					
04B9A10	10,84	10,73	116,31	61,38	0,53
Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
04B1B01	10,72	10,64	114,06	61,28	0,54
04B1B02	10,74	10,75	115,46	67,98	0,59
04B1B03	10,59	11,50	121,79	57,30	0,47
04B1B04	10,83	10,74	116,31	60,93	0,52
04B1B05	10,72	10,72	114,92	74,29	0,65
04B1B06	10,85	10,84	117,61	69,91	0,59
04B1B07	11,05	11,04	121,99	57,50	0,47
04B1B08	10,95	10,80	118,26	66,03	0,56
04B1B09	10,50	10,53	110,57	67,04	0,61
04B1B10	10,57	10,55	111,51	58,64	0,53
04B2B01	10,90	10,70	116,63	66,24	0,57

04B2B02	11,18	10,85	121,30	74,86	0,62
04B2B03					
04B2B04	10,87	10,89	118,37	60,25	0,51
04B2B05	10,87	10,84	117,83	61,28	0,52
04B2B06	10,67	10,67	113,85	65,69	0,58
04B2B07	10,80	10,93	118,04	64,11	0,54
04B2B08	10,75	10,73	115,35	86,15	0,75
04B2B09	10,92	10,73	117,17	51,45	0,44
04B2B10					
04B3B01	10,88	10,60	115,33	50,97	0,44
04B3B02	10,80	10,67	115,24	56,95	0,49
04B3B03	10,95	10,82	118,48		0,00
04B3B04	10,99	10,67	117,26	55,38	0,47
04B3B05					
04B3B06	10,95	10,92	119,57	62,89	0,53
04B3B07	10,98	10,69	117,38	68,77	0,59
04B3B08	10,89	10,75	117,07	50,97	0,44
04B3B09	10,82	10,64	115,12	50,24	0,44
04B3B10	11,10	10,78	119,66	54,42	0,45
04B6B01					
04B6B02	10,18	10,18	103,63	57,25	0,55
04B6B03					
04B6B04					
04B6B05	10,76	10,73	115,45	40,55	0,35
04B6B06					
04B6B07	10,65	10,61	113,00	47,83	0,42
04B6B08					
04B6B09	10,76	10,75	115,67	49,05	0,42
04B6B10	10,63	10,57	112,36	40,35	0,36
04B7B01	10,83	10,86	117,61	60,36	0,51
04B7B02	10,96	10,94	119,90	62,68	0,52
04B7B03					
04B7B04	10,91	10,86	118,48	68,14	0,58
04B7B05	10,81	10,90	117,83	51,64	0,44
04B7B06	10,83	10,99	119,02	58,62	0,49
04B7B07	10,90	10,91	118,92	63,34	0,53
04B7B08	10,95	10,92	119,57	71,95	0,60
04B7B09	10,79	10,87	117,29	67,41	0,57
04B7B10	10,97	11,01	120,78	51,68	0,43
04B8B01	10,74	10,64	114,27	53,59	0,47
04B8B02					
04B8B03	10,73	10,60	113,74	42,83	0,38
04B8B04	10,55	10,55	111,30	55,58	0,50
04B8B05	10,83	10,72	116,10	58,23	0,50
04B8B06	10,81	10,68	115,45	57,43	0,50
04B8B07	10,83	10,65	115,34	62,87	0,55
04B8B08	10,64	10,66	113,42	67,04	0,59

04B8B09					
04B8B10	10,57	10,57	111,72	67,87	0,61
Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
05B3AD01	10,88	10,78	117,29	94,10	0,80
05B3AD02	10,96	10,89	119,35	129,08	1,08
05B3AD03	10,91	11,02	120,23	99,61	0,83
05B3AD04	10,85	10,82	117,40	73,42	0,63
05B3AD05	10,83	11,18	121,08	78,87	0,65
05B3AD06	11,02	10,94	120,56	127,43	1,06
05B3AD07	9,85	11,01	108,45	138,76	1,28
05B3AD08	10,86	10,83	117,61	126,19	1,07
05B3AD09	10,83	11,00	119,13	84,34	0,71
05B3AD10	10,74	10,72	115,13	93,28	0,81
05B5AD01	10,93	10,51	114,87	76,89	0,67
05B5AD02	10,94	10,53	115,20	103,12	0,90
05B5AD03	10,69	10,67	114,06	68,25	0,60
05B5AD04	10,68	10,75	114,81	93,37	0,81
05B5AD05	10,89	10,81	117,72	101,57	0,86
05B5AD06	11,07	10,52	116,46	108,05	0,93
05B5AD07	10,88	10,73	116,74	98,31	0,84
05B5AD08	10,83	10,35	112,09	97,90	0,87
05B5AD09	10,79	10,74	115,88	84,46	0,73
05B5AD10	10,80	10,88	117,50	80,23	0,68
05B6AD01	11,12	11,25	125,10	86,00	0,69
05B6AD02	11,00	11,28	124,08	141,25	1,14
05B6AD03	11,27	11,19	126,11	117,25	0,93
05B6AD04	11,01	10,85	119,46	137,35	1,15
05B6AD05	11,01	10,96	120,67	113,51	0,94
05B6AD06	11,44	10,90	124,70	174,44	1,40
05B6AD07	11,18	11,24	125,66	109,31	0,87
05B6AD08	11,12	11,93	132,66	160,15	1,21
05B6AD09	11,04	10,99	121,33	174,78	1,44
05B6AD10	11,26	11,93	134,33	102,87	0,77

05B7AD01	11,07	11,06	122,43	161,36	1,32
05B7AD02	11,02	10,90	120,12	150,64	1,25
05B7AD03	11,02	11,04	121,66	126,47	1,04
05B7AD04	11,31	11,19	126,56	125,82	0,99
05B7AD05					
05B7AD06	10,84	11,07	120,00	176,90	1,47
05B7AD07	11,15	11,06	123,32	149,80	1,21
05B7AD08	11,15	11,40	127,11	137,48	1,08
05B7AD09	11,05	10,98	121,33	162,33	1,34
05B7AD10	10,94	10,00	109,40	116,75	1,07
05B8AD01					
05B8AD02	11,29	10,89	122,95	72,67	0,59
05B8AD03	11,05	10,94	120,89	84,45	0,70
05B8AD04	10,85	10,77	116,85	85,95	0,74
05B8AD05	10,76	10,98	118,14	81,31	0,69
05B8AD06					
05B8AD07	10,69	10,94	116,95	101,13	0,86
05B8AD08	11,01	10,96	120,67	83,28	0,69
05B8AD09					
05B8AD10	10,97	10,94	120,01	70,39	0,59
05B9AD01	10,88	10,79	117,40	65,60	0,56
05B9AD02	11,21	10,98	123,09	77,71	0,63
05B9AD03	11,20	11,09	124,21	84,30	0,68
05B9AD04	11,25	11,10	124,88	115,02	0,92
05B9AD05	11,24	11,03	123,98	98,66	0,80
05B9AD06	11,11	11,10	123,32	123,54	1,00
05B9AD07	11,62	11,22	130,38	134,93	1,03
05B9AD08	11,03	10,89	120,12	93,34	0,78
05B9AD09	10,91	11,10	121,10	81,69	0,67
05B9AD10	11,49	11,22	128,92	72,87	0,57
05B10AD01	11,58	11,47	132,82	62,78	0,47
05B10AD02	11,79	11,34	133,70	110,64	0,83
05B10AD03	11,97	11,51	137,77	85,41	0,62

05B10AD04					
05B10AD05	11,27	11,19	126,11	72,57	0,58
05B10AD06	11,07	11,45	126,75	74,89	0,59
05B10AD07	11,49	11,34	130,30	64,32	0,49
05B10AD08	11,05	11,64	128,62	56,61	0,44
05B10AD09	11,85	11,42	135,33	78,80	0,58
05B10AD10	11,88	11,49	136,50	71,80	0,53
Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
05B8BD01	11,01	10,95	120,56	94,63	0,78
05B8BD02	10,76	10,62	114,27	84,78	0,74
05B8BD03	10,70	10,94	117,06	98,17	0,84
05B8BD04	10,90	10,91	118,92	98,74	0,83
05B8BD05	11,28	11,13	125,55	124,47	0,99
05B8BD06	10,72	10,37	111,16	83,75	0,75
05B8BD07	11,05	10,72	118,46	92,63	0,78
05B8BD08	10,70	10,94	117,06	79,14	0,68
05B8BD09	10,83	10,65	115,34	100,00	0,87
05B8BD10	10,94	10,85	118,70	82,48	0,69

Tabela 79 - Cálculo de RAT. Superfícies Sh.

Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
01B4B01	10,75	10,98	118,04	51,31	0,43
01B4B02	10,9	10,77	117,39	44,82	0,38
01B4B03	10,78	10,79	116,32	49,54	0,43
01B4B04					
01B4B05	10,86	10,8	117,29	43,22	0,37
01B4B06	10,85	10,74	116,53	52,43	0,45
01B4B07	10,80	10,87	117,40	53,37	0,45
01B4B08	10,73	10,72	115,03	44,96	0,39
01B4B09	10,77	10,66	114,81	48,03	0,42
01B4B10					
01B8B01	10,63	10,83	115,12	46,21	0,40
01B8B02	10,88	11,08	120,55	48,93	0,41
01B8B03	10,99	10,97	120,56	54,94	0,46
01B8B04	11	10,97	120,67	43,21	0,36
01B8B05					
01B8B06	10,88	10,84	117,94	48,74	0,41
01B8B07	10,85	10,59	114,90	43,14	0,38
01B8B08	10,74	11,06	118,78	45,29	0,38
01B8B09					
01B8B10					
Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
02B4B01	11,00	10,62	116,82	60,16	0,51
02B4B02	10,91	10,75	117,28	51,18	0,44
02B4B03	10,81	10,72	115,88	72,71	0,63
02B4B04	10,73	10,80	115,88	88,79	0,77
02B4B05	11,03	10,75	118,57	89,46	0,75
02B4B06	10,71	10,70	114,60	104,25	0,91
02B4B07	10,98	10,85	119,13	59,86	0,50
02B4B08	10,86	10,76	116,85	87,53	0,75
02B4B09	10,59	10,54	111,62	101,29	0,91
02B4B10	10,78	10,87	117,18	84,75	0,72
02B9B01	10,85	10,7	116,10	41,27	0,36
02B9B02	10,95	10,75	117,71	47,85	0,41
02B9B03	10,96	10,84	118,81	34,85	0,29
02B9B04	11,01	10,77	118,58	40,49	0,34
02B9B05	10,95	10,85	118,81	41,27	0,35
02B9B06	10,97	10,8	118,48	45,59	0,38
02B9B07	11,05	10,68	118,01	54,23	0,46

02B9B08	10,95	10,68	116,95	69,86	0,60
02B9B09	10,95	10,59	115,96	67,24	0,58
02B9B10	10,78	10,78	116,21	88,4	0,76
Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
03B2B01	10,78	10,95	118,04	59,79	0,51
03B2B02	10,82	10,78	116,64	60,00	0,51
03B2B03	10,72	10,86	116,42	65,74	0,56
03B2B04	10,83	11,11	120,32	65,15	0,54
03B2B05	10,84	10,86	117,72	63,17	0,54
03B2B06	10,95	11,03	120,78	72,14	0,60
03B2B07	10,81	11,10	119,99	75,78	0,63
03B2B08	10,92	10,80	117,94	64,51	0,55
03B2B09	10,80	10,91	117,83	54,91	0,47
03B2B10	10,88	10,76	117,07	78,81	0,67
03B10B01	10,79	10,77	116,21	70,8	0,61
03B10B02	10,92	10,85	118,48	93,44	0,79
03B10B03	10,67	10,63	113,42	72,53	0,64
03B10B04	11	10,96	120,56	80,62	0,67
03B10B05	11,05	10,89	120,33	119,15	0,99
03B10B06	11,04	10,96	121,00	148,54	1,23
03B10B07	11,06	10,93	120,89	69,52	0,58
03B10B08	10,89	10,96	119,35	63,99	0,54
03B10B09	10,92	11,04	120,56	72,77	0,60
03B10B10	11,06	10,94	21,00	77,95	0,64
Superfícies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
04B3A01	10,77	10,72	115,45	70,66	0,61
04B3A02	10,89	10,82	117,83	57,00	0,48
04B3A03	10,88	10,82	117,72	54,80	0,47
04B3A04	10,82	10,85	117,40	71,76	0,61
04B3A05	10,86	10,90	118,37	78,95	0,67
04B3A06	10,69	10,88	116,31	76,77	0,66
04B3A07	10,80	10,88	117,50	76,76	0,65
04B3A08	10,87	10,86	118,05	56,55	0,48
04B3A09	10,75	10,75	115,56	69,35	0,60
04B3A10	10,84	10,79	116,96	55,05	0,47
04B8A01	10,57	10,54	111,41	94,27	0,85
04B8A02	11,06	10,61	117,35	98,95	0,84
04B8A03	11,00	10,75	118,25	84,50	0,71
04B8A04	10,87	10,68	116,09	71,02	0,61
04B8A05	10,80	10,70	115,56	106,73	0,92
04B8A06	11,12	10,90	121,21	75,31	0,62
04B8A07	11,12	10,90	121,21	105,36	0,87
04B8A08	10,62	11,07	117,56	62,00	0,53
04B8A09	10,93	10,72	117,17	50,50	0,43
04B8A10	10,53	10,14	106,77	55,40	0,52

Superficies	a (mm)	b (mm)	área (mm²)	F (N)	RAT (MPa)
05B6BD01	10,77	10,59	114,05	69,67	0,61
05B6BD02	10,85	10,83	117,51	78,24	0,67
05B6BD03	11,08	10,97	121,55	60,13	0,49
05B6BD04	10,72	10,86	116,42	72,16	0,62
05B6BD05	10,54	11,01	116,05	54,34	0,47
05B6BD06			-		
05B6BD07			-		
05B6BD08	10,83	11,18	121,08	53,50	0,44
05B6BD09	10,76	10,83	116,53	66,82	0,57
05B6BD10	10,88	10,75	116,96	59,54	0,51
05B9BD01	10,79	10,81	116,64	74,30	0,64
05B9BD02	11,02	10,70	117,91	67,08	0,57
05B9BD03	10,75	10,68	114,81	80,69	0,70
05B9BD04	10,75	10,47	112,55	103,52	0,92
05B9BD05	10,77	10,57	113,84	74,88	0,66
05B9BD06	10,80	10,76	116,21	70,88	0,61
05B9BD07			-		
05B9BD08	10,73	10,91	117,06	86,71	0,74
05B9BD09	10,87	10,72	116,53	83,02	0,71
05B9BD10	10,63	10,65	113,21	76,59	0,68

APÊNDICE L - HISTOGRAMAS DAS RAT - SEGUNDA ETAPA

Tabela 80 - Histogramas de RAT – Substratos Ch.

Substratos 1	Frequência	Substratos 2	Frequência	Substratos 3	Frequência
0,26	0	0,26	1	0,26	0
0,50	13	0,50	11	0,50	12
0,50	0	0,50	0	0,50	0
0,74	47	0,74	47	0,74	23
0,74	0	0,74	0	0,74	0
0,99	8	0,99	8	0,99	16
0,99	0	0,99	0	0,99	0
1,23	0	1,23	0	1,23	10
1,23	0	1,23	0	1,23	0
1,47	0	1,47	0	1,47	7
Mais	0	Mais	0	Mais	0
	68,00		67,00		68,00

Substratos 4	Frequência	Substratos 5	Frequência
0,26	0	0,26	0
0,50	24	0,50	3
0,50	0	0,50	0
0,74	33	0,74	27
0,74	0	0,74	0
0,99	8	0,99	23
0,99	0	0,99	0
1,23	4	1,23	14
1,23	0	1,23	0
1,47	1	1,47	7
Mais	0	Mais	0
	70,00		74,00

Tabela 81 - Histograma das RAT - substratos Sh

SUBSTRATOS 1	Frequência	SUBSTRATOS 2	Frequência	SUBSTRATOS 3	Frequência
0,26	0	0,26	0	0,26	0
0,50	15	0,50	8	0,50	1
0,50	0	0,50	0	0,50	0
0,74	0	0,74	6	0,74	16
0,74	0	0,74	0	0,74	0
0,99	0	0,99	6	0,99	1
0,99	0	0,99	0	0,99	0
1,23	0	1,23	0	1,23	2
1,23	0	1,23	0	1,23	0
1,47	0	1,47	0	1,47	0
Mais	0	Mais	0	Mais	0
	15		20		20

Substratos 4	Frequência	Substratos 5	Frequência
0,26	0	0,26	0
0,50	5	0,50	3
0,50	0	0,50	0
0,74	11	0,74	13
0,74	0	0,74	0
0,99	4	0,99	1
0,99	0	0,99	0
1,23	0	1,23	0
1,23	0	1,23	0
1,47	0	1,47	0
Mais	0	Mais	0
	20		17

APÊNDICE M - TESTE Z DAS RAT - SEGUNDA ETAPA

Tabela 82 - Teste Z - RAT - Substratos Ch

Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2		Variável 1	Variável 2		Variável 1	Variável 2
Média	0,62206097	0,60409378	Média	0,760956	0,62206097	Média	0,593298	0,622061
Variância conhecida	0,02	0,02	Variância conhecida	0,09	0,02	Variância	0,04	0,02
Observações	82	70	Observações	72	82	Observaçõ	82	82
Hipótese da diferença de mé	0		Hipótese da diferença de m	0		Hipótese d	0	
z	0,780727385		z	3,593554		z	-1,06332	
P(Z<=z) uni-caudal	0,217481425		P(Z<=z) uni-caudal	0,000163		P(Z<=z) ur	0,143817	
z crítico uni-caudal	1,644853627		z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi-caudal	0,43496285		P(Z<=z) bi-caudal	0,000326		P(Z<=z) bi	0,287635	
z crítico bi-caudal	1,959963985		z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2		Variável 1	Variável 2		Variável 1	Variável 2
Média	0,760955543	0,60409378	Média	0,593298	0,60409378	Média	0,850249	0,604094
Variância conhecida	0,09	0,02	Variância conhecida	0,04	0,02	Variância	0,06	0,02
Observações	72	70	Observações	82	70	Observaçõ	74	70
Hipótese da diferença de mé	0		Hipótese da diferença de m	0		Hipótese d	0	
z	4,002781576		z	-0,38817		z	7,433619	
P(Z<=z) uni-caudal	3,1301E-05		P(Z<=z) uni-caudal	0,348946		P(Z<=z) ur	5,28E-14	
z crítico uni-caudal	1,644853627		z crítico uni-caudal	1,644854		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi-caudal	6,26021E-05		P(Z<=z) bi-caudal	0,697891		P(Z<=z) bi	1,06E-13	
z crítico bi-caudal	1,959963985		z crítico bi-caudal	1,959964		z crítico bi	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2		Variável 1	Variável 2		Variável 1	Variável 2
Média	0,760955543	0,59329794	Média	0,760956	0,8502493			
Variância conhecida	0,09	0,04	Variância conhecida	0,09	0,06			
Observações	72	82	Observações	72	74			
Hipótese da diferença de mé	0		Hipótese da diferença de m	0				
z	4,021820983		z	-1,96699				
P(Z<=z) uni-caudal	2,8875E-05		P(Z<=z) uni-caudal	0,024592				
z crítico uni-caudal	1,644853627		z crítico uni-caudal	1,644854				
P(Z<=z) bi-caudal	5,77499E-05		P(Z<=z) bi-caudal	0,049184				
z crítico bi-caudal	1,959963985		z crítico bi-caudal	1,959964				
Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2		Variável 1	Variável 2		Variável 1	Variável 2
Média	0,850249305	0,59329794						
Variância conhecida	0,06	0,04						
Observações	74	82						
Hipótese da diferença de mé	0							
z	7,130345897							
P(Z<=z) uni-caudal	5,006E-13							
z crítico uni-caudal	1,644853627							
P(Z<=z) bi-caudal	1,0012E-12							
z crítico bi-caudal	1,959963985							

Tabela 83 - Teste Z RAT - Substratos Sh.

Teste-z: duas amostras para médias											
	Variável 1	Variável 2									
Média	0,570891	0,407716	Média	0,643082	0,407716	Média	0,630487	0,407716	Média	0,624099	0,407716
Variância	0,04	0,001	Variância	0,03	0,001	Variância	0,02	0,001	Variância	0,01	0,001
Observaç	20	15	Observaç	20	15	Observaç	20	15	Observaç	17	15
Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0	
z	3,589389		z	5,946432		z	6,820965		z	8,455427	
P(Z<=z) ur	0,000166		P(Z<=z) ur	1,37E-09		P(Z<=z) ur	4,52E-12		P(Z<=z) ur	0	
z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi	0,000331		P(Z<=z) bi	2,74E-09		P(Z<=z) bi	9,04E-12		P(Z<=z) bi	0	
z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2									
Média	0,570891	0,643082	Média	0,570891	0,630487	Média	0,570891	0,624099	Média	0,570891	0,624099
Variância	0,04	0,03	Variância	0,04	0,02	Variância	0,04	0,01	Variância	0,04	0,01
Observaç	20	20	Observaç	20	20	Observaç	20	17	Observaç	20	17
Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0	
z	-1,22025		z	-1,08807		z	-1,04585		z	-1,04585	
P(Z<=z) ur	0,111186		P(Z<=z) ur	0,138282		P(Z<=z) ur	0,147814		P(Z<=z) ur	0,147814	
z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi	0,222371		P(Z<=z) bi	0,276565		P(Z<=z) bi	0,295629		P(Z<=z) bi	0,295629	
z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964	
Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias			Teste-z: duas amostras para médias		
	Variável 1	Variável 2									
Média	0,643082	0,630487	Média	0,643082	0,624099	Média	0,630487	0,624099	Média	0,630487	0,624099
Variância	0,03	0,02	Variância	0,03	0,01	Variância	0,02	0,01	Variância	0,02	0,01
Observaç	20	20	Observaç	20	17	Observaç	20	17	Observaç	20	17
Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0		Hipótese	0	
z	0,251896		z	0,415415		z	0,160303		z	0,160303	
P(Z<=z) ur	0,400561		P(Z<=z) ur	0,338919		P(Z<=z) ur	0,436321		P(Z<=z) ur	0,436321	
z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854		z crítico ur	1,644854	
P(Z<=z) bi	0,801122		P(Z<=z) bi	0,677838		P(Z<=z) bi	0,872642		P(Z<=z) bi	0,872642	
z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964		z crítico bi	1,959964	

APÊNDICE N - REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA - RAT - SEGUNDA ETAPA

Tabela 84 - Regressão linear múltipla - Ch

<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0,197082862							
R-Quadrado	0,038841654							
R-quadrado ajustado	0,033253524							
Erro padrão	0,231066683							
Observações	347							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	0,742225515	0,371112758	6,950742905	0,001098323			
Resíduo	344	18,36678329	0,053391812					
Total	346	19,1090088						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,614188811	0,045658214	13,45188002	1,94804E-33	0,524384399	0,703993222	0,524384399	0,703993222
RVM	-0,030149213	0,015862648	-1,900641865	0,058184633	-0,061349202	0,001050776	-0,061349202	0,001050776
AAVG	0,977783703	0,26650768	3,668876276	0,000282221	0,453594002	1,501973403	0,453594002	1,501973403

Substratos 1

<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0,095966856							
R-Quadrado	0,009209637							
R-quadrado ajustado	-0,02127622							
Erro padrão	0,117089593							
Observações	68							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	0,00828344	0,00414172	0,302095407	0,740299813			
Resíduo	65	0,891148228	0,013709973					
Total	67	0,899431668						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,709332533	0,12293999	5,769746147	2,39982E-07	0,463804419	0,954860647	0,463804419	0,954860647
Rvm	0,003185099	0,022611408	0,140862472	0,888414225	-0,041973001	0,048343199	-0,041973001	0,048343199
AAVG	-0,790293679	1,023341131	-0,772268068	0,442754607	-2,834047045	1,253459687	-2,834047045	1,253459687

Substratos 2

<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0,161408453							
R-Quadrado	0,026052689							
R-quadrado ajustado	-0,004383165							
Erro padrão	0,135533831							
Observações	67							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	0,031447961	0,01572398	0,855986792	0,429669788			
Resíduo	64	1,175642838	0,018369419					
Total	66	1,207090799						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,475340938	0,160792651	2,956235462	0,004356569	0,15412069	0,796561185	0,15412069	0,796561185
Rvm	-0,015934801	0,02043506	-0,77977546	0,438396075	-0,056758527	0,024888925	-0,056758527	0,024888925
AAVG	1,262195783	1,122278642	1,124672373	0,264928336	-0,97981354	3,504205107	-0,97981354	3,504205107

Substratos 3

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,14609349							
R-Quadrado	0,021343308							
R-quadrado ajustado	-0,008769206							
Erro padrão	0,302773935							
Observações	68							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	0,129951615	0,064975808	0,708785323	0,496006118			
Resíduo	65	5,958683624	0,091672056					
Total	67	6,088635239						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,766120342	0,145402349	5,268968137	1,6667E-06	0,475731799	1,056508884	0,475731799	1,056508884
Rvm	0,06817497	0,061074121	1,116266075	0,268417856	-0,053798473	0,190148413	-0,053798473	0,190148413
AAVG	-0,853787255	1,871628509	-0,456173461	0,649785799	-4,5916875	2,88411299	-4,5916875	2,88411299

Substratos 4

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,265276796							
R-Quadrado	0,070371778							
R-quadrado ajustado	0,042621682							
Erro padrão	0,199710544							
Observações	70							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	0,202286088	0,101143044	2,535911152	0,086768389			
Resíduo	67	2,672248181	0,039884301					
Total	69	2,874534269						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,125143524	0,22923948	0,545907382	0,586942741	-0,332420392	0,582707441	-0,332420392	0,582707441
Rvm	0,025808825	0,038415113	0,671840398	0,503995413	-0,050868061	0,102485711	-0,050868061	0,102485711
AAVG	2,379050109	1,057906227	2,248828912	0,027816028	0,267460442	4,490639776	0,267460442	4,490639776

Substratos 5

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,054076169							
R-Quadrado	0,002924232							
R-quadrado ajustado	-0,025162409							
Erro padrão	0,247812807							
Observações	74							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	0,012787614	0,006393807	0,104114693	0,901259259			
Resíduo	71	4,360194287	0,061411187					
Total	73	4,372981901						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,788138098	0,221074481	3,565034252	0,000655695	0,347328102	1,228948095	0,347328102	1,228948095
Rvm	-0,005924846	0,041109823	-0,1441224	0,885812119	-0,087895504	0,076045812	-0,087895504	0,076045812
AAVG	0,350126518	0,834586475	0,419520958	0,676102123	-1,31399165	2,014244685	-1,31399165	2,014244685

Tabela 85 - Regressão linear múltipla – substratos Sh.

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,177724758							
R-Quadrado	0,03158609							
R-quadrado ajustado	0,009823979							
Erro padrão	0,167400834							
Observações	92							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	0,081346727	0,040673363	1,451425853	0,239726116			
Resíduo	89	2,494050482	0,028023039					
Total	91	2,575397209						
	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,48142432	0,065968152	7,297829399	1,16849E-10	0,350347007	0,612501633	0,350347007	0,612501633
RVM	0,002417258	0,022844935	0,10581153	0,915970013	-0,042975142	0,047809657	-0,042975142	0,047809657
AVG	0,634054121	0,419933289	1,509892493	0,134613095	-0,20034438	1,468452622	-0,20034438	1,468452622

Substratos 1

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,403918181							
R-Quadrado	0,163149897							
R-quadrado ajustado	0,02367488							
Erro padrão	0,031499806							
Observações	15							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	0,002321326	0,001160663	1,169742798	0,343467812			
Resíduo	12	0,011906853	0,000992238					
Total	14	0,014228179						
	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0,474879893	0,147114062	3,227970783	0,007246532	0,154345888	0,795413898	0,154345888	0,795413898
RVM	-0,03952792	0,035428906	-1,11569676	0,286396099	-0,11672087	0,037665039	-0,11672087	0,037665039
AVG	0,188586521	0,697864372	0,270233771	0,791571858	-1,331929326	1,709102368	-1,331929326	1,709102368

Substratos 2

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,612900368							
R-Quadrado	0,375646861							
R-quadrado ajustado	0,302193551							
Erro padrão	0,162713821							
Observações	20							
ANOVA								
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	0,270799135	0,135399568	5,114090281	0,018245575			
Resíduo	17	0,450088388	0,026475788					
Total	19	0,720887523						
	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	-0,40787293	0,523478145	-0,77915943	0,446597351	-1,512315279	0,696569412	-1,512315279	0,696569412
RVM	0,110329842	0,038624342	2,856484724	0,010923564	0,028839604	0,191820079	0,028839604	0,191820079
AVG	5,001846125	3,765162991	1,328454077	0,20158699	-2,941953406	12,94564566	-2,941953406	12,94564566

Substratos 3

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,280234639							
R-Quadrado	0,078531453							
R-quadrado ajustado	-0,02987661							
Erro padrão	0,18176272							
Observações	20							
ANOVA								
	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	2	0,047865397	0,023932698	0,724406009	0,49898143			
Resíduo	17	0,561640666	0,033037686					
Total	19	0,609506063						
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	0,515966973	0,172139776	2,997372161	0,008099947	0,152783792	0,879150154	0,152783792	0,879150154
RVM	-0,07337444	0,0756354	-0,9701071	0,345594158	-0,232951183	0,086202306	-0,232951183	0,086202306
AVG	2,265715341	1,986765678	1,140403907	0,269930447	-1,925993836	6,457424518	-1,925993836	6,457424518

Substratos 4

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,279223032							
R-Quadrado	0,077965501							
R-quadrado ajustado	-0,03050915							
Erro padrão	0,148516938							
Observações	20							
ANOVA								
	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	2	0,031707077	0,015853538	0,718743997	0,501592405			
Resíduo	17	0,374973776	0,022057281					
Total	19	0,406680853						
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	0,907214322	0,382849097	2,369639447	0,029904371	0,099473334	1,71495531	0,099473334	1,71495531
RVM	-0,06474495	0,054379907	-1,19060433	0,250169273	-0,179476527	0,049986622	-0,179476527	0,049986622
AVG	-0,6430601	1,866158278	-0,34459033	0,734628542	-4,580309901	3,29418971	-4,580309901	3,29418971

Substratos 5

Estatística de regressão								
R múltiplo	0,353765652							
R-Quadrado	0,125150137							
R-quadrado ajustado	0,000171585							
Erro padrão	0,11571725							
Observações	17							
ANOVA								
	gl	SQ	MQ	F	F de significação			
Regressão	2	0,026817732	0,013408866	1,001372912	0,392224483			
Resíduo	14	0,187466746	0,013390482					
Total	16	0,214284478						
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores	95% superiores	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Interseção	0,485003121	0,201037523	2,412500475	0,030138233	0,053820517	0,916185724	0,053820517	0,916185724
RVM	0,051381262	0,040562108	1,266730584	0,225920901	-0,035615806	0,138378331	-0,035615806	0,138378331
AVG	0,035749009	1,012603186	0,035304065	0,972335717	-2,136068826	2,207566843	-2,136068826	2,207566843

APÊNDICE O - PARÂMETROS DE RUGOSIDADE E RAT

Tabela 86 - Parâmetros de rugosidade e RAT das amostras Ch - terceira etapa

Surface	Ra (µm)	Area(mm²)	RAT (MPa)
B4A01	31,20	0,02	0,24
B4A02	31,39	0,02	0,18
B4A03	53,52	0,04	0,26
B4A04	72,58	0,06	0,26
B4A05	39,14	0,02	0,17
B4A06	37,38	0,01	0,17
B4B01	30,24	0,03	0,21
B4B02	28,98	0,02	0,10
B4B03	49,46	0,06	0,16
B4B04	43,63	0,06	0,11
B4B05	35,56	0,03	0,17
B4B06	37,98	0,02	0,15
B5A01	36,54	0,08	0,15
B5A02	52,03	0,11	0,15
B5A03	61,04	0,04	0,22
B5A04	54,52	0,07	0,27
B5A05	35,06	0,07	0,17
B5A06	51,35	0,04	0,23
B5B01	28,81	0,11	0,16
B5B02	37,02	0,12	0,15
B5B03	46,01	0,07	0,21
B5B04	41,79	0,09	0,09
B5B05	31,15	0,10	0,08
B5B06	36,43	0,04	0,12
B6A01	30,62	0,07	0,15
B6A02	26,74	0,05	0,08
B6A03	50,79	0,11	0,26
B6A04	45,96	0,09	0,14
B6A05	39,62	0,11	0,10
B6A06	29,72	0,07	0,13

B6B01	27,85	0,05	0,15
B6B02	26,14	0,07	0,09
B6B03	38,67	0,08	0,19
B6B04	39,61	0,08	0,02
B6B05	28,77	0,05	0,08
B6B06	210,84	0,04	0,17
B8B01	37,68	0,16	0,50
B8B03	51,45	0,06	0,38
B8B04	60,86	0,16	0,47
B8B05	42,83	0,04	0,40
B8B06	37,71	0,13	0,34
MÉDIA	44,60	0,07	0,19
DV	28,66	0,04	0,10
CV	64%	54%	55%
MÍNIMO	26,14	0,01	0,02
MÁXIMO	210,84	0,16	0,50

Tabela 87 - Parâmetros de rugosidade e RAT das amostras Sh -- terceira etapa.

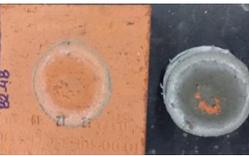
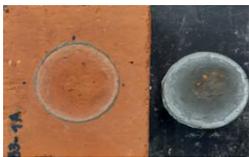
Surface	Ra (µm)	Amv (mm²)	RAT(MPa)
B2A01	43,79	0,10	0,26
B2A02	35,90	0,05	0,25
B2A03	54,86	0,10	0,14
B2A04	47,22	0,11	0,32
B2A05	41,48	0,10	0,27
B2A06	115,22	0,08	0,27
B2B01	50,33	0,01	0,26
B2B02	42,29	0,01	0,16
B2B03	39,68	0,06	0,10
B2B04	56,41	0,01	0,10
B2B05	33,82	0,02	0,17
B2B06	49,34	0,03	0,14
B3A01	41,65	0,08	0,12
B3A02	34,08	0,04	0,13
B3A03	58,84	0,08	0,11
B3A04	43,45	0,07	0,03
B3A05	36,61	0,11	0,08
B3A06	38,44	0,05	0,11
B3B01	29,47	0,04	0,12
B3B02	30,10	0,02	0,04
B3B03	43,08	0,06	0,20
B3B04	43,09	0,06	0,17
B3B05	34,11	0,02	0,05
B3B06	30,24	0,06	0,12
B8A01	31,94	0,05	0,23
B8A02	28,78	0,03	0,33
B8A03	35,84	0,04	0,26
B8A04	37,40	0,07	0,24
B8A05	37,83	0,04	0,24
B8A06	35,27	0,03	0,47
B9B01	29,99	0,03	0,24

B9B02	26,22	0,04	0,33
B9B03	50,76	0,06	0,34
B9B04	34,86	0,09	0,23
B9B05	37,39	0,03	0,33
B9B06	32,11	0,03	0,37
MÉDIA	41,44	0,05	0,20
DV	15,04	0,03	0,10
CV	36%	56%	51%
MÍNIMO	26,22	0,01	0,03
MÁXIMO	115,22	0,11	0,47

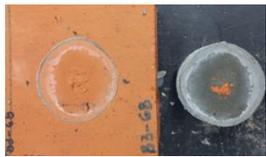
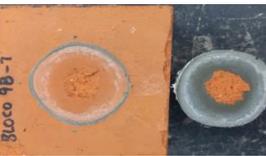
APÊNDICE P - RAT

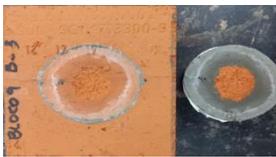
Tabela 88 - RAT dos substratos Sh.

Substrato	diâmetro (mm)	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)	Forma de ruptura
1	50	1.962,50	516,50	0,26	
2	50	1.962,50	498,00	0,25	
3	49	1.884,79	272,00	0,14	
4	49	1.884,79	603,50	0,32	
5	49	1.884,79	506,00	0,27	
6	49	1.884,79	512,00	0,27	
7	49	1.884,79	493,50	0,26	

8	50	1.962,50	311,00	0,16	
9	50	1.962,50	192,00	0,10	
10	49	1.884,79	188,50	0,10	
11	49	1.884,79	325,50	0,17	
12	49	1.884,79	268,00	0,14	
13	49	1.884,79	222,00	0,12	
14	49	1.884,79	239,50	0,13	
15	49	1.884,79	204,00	0,11	

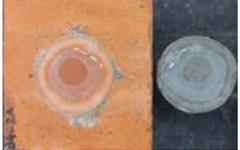
16	50	1.962,50	64,50	0,03	
17	49	1.884,79	159,00	0,08	
18	49	1.884,79	198,50	0,11	
19	49	1.884,79	223,50	0,12	
20	49	1.884,79	83,50	0,04	
21	49	1.884,79	379,50	0,20	
22	49	1.884,79	319,00	0,17	
23	49	1.884,79	92,50	0,05	

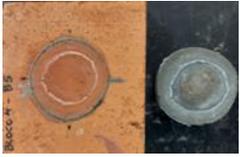
24	49	1.884,79	229,50	0,12	
25	48	1.808,64	361,50	0,20	
26	48	1.808,64	458,50	0,25	
27	48	1.808,64	318,50	0,18	
28	49	1.884,79	426,00	0,23	
29	49	1.884,79	361,50	0,19	
30	49	1.884,79	499,00	0,26	
31	49	1.884,79	453,00	0,24	

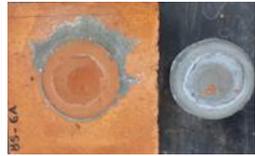
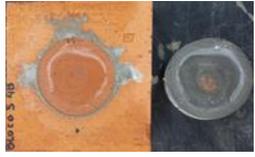
32	49	1.884,79	617,00	0,33	
33	48	1.808,64	623,50	0,34	
34	49	1.884,79	434,50	0,23	
35	48	1.808,64	599,50	0,33	
36	49	1.884,79	699,50	0,37	
37	48	1.808,64	415	0,23	
38	48	1.808,64	596	0,33	
39	49	1.884,79	494,5	0,26	

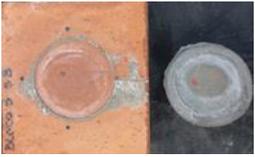
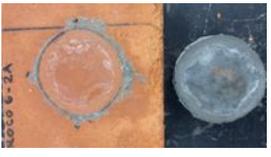
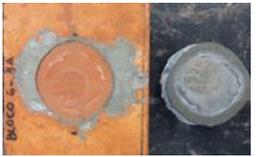
40	49	1.884,79	452	0,24	
41	47	1.734,07	412	0,24	
42	48	1.808,64	477	0,26	

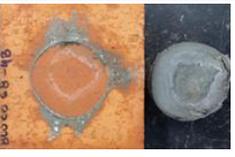
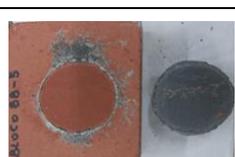
Tabela 89 - RAT dos substratos Ch.

Substrato	diâmetro (mm)	área (mm ²)	F (N)	RAT (MPa)	Forma de ruptura
1	49,06	1889,40	448,50	0,24	
2	47,80	1793,60	330,50	0,18	
3	47,32	1757,76	461,50	0,26	
4	48,11	1816,94	468,50	0,26	

5	47,33	1758,50	301,00	0,17	
6	48,55	1850,33	321,00	0,17	
7	48,00	1.808,64	381,00	0,21	
8	49,00	1.884,79	191,50	0,10	
9	48,00	1.808,64	287,50	0,16	
10	48,00	1.808,64	200,00	0,11	
11	48,00	1.808,64	322,00	0,18	
12	48,00	1.808,64	275,00	0,15	
13	49,00	1.884,79	295,50	0,16	

14	50,00	1.962,50	301,50	0,15	
15	49,00	1.884,79	405,50	0,22	
16	49,00	1.884,79	502,00	0,27	
17	49,00	1.884,79	327,00	0,17	
18	49,00	1.884,79	439,00	0,23	
19	50,00	1.962,50	316,50	0,16	
20	49,00	1.884,79	283,00	0,15	
21	50,00	1.962,50	401,00	0,20	
22	49,00	1.884,79	178,50	0,09	

23	49,00	1.884,79	161,50	0,09	
24	49,00	1.884,79	234,00	0,12	
25	47,00	1.734,07	255,00	0,15	
26	49,00	1.884,79	148,50	0,08	
27	48,00	1.808,64	467,50	0,26	
28	49,00	1.884,79	258,50	0,14	
29	48,00	1.808,64	171,50	0,09	
30	49,00	1.884,79	249,00	0,13	
31	48,00	1.808,64	282,00	0,16	

32	48,00	1.808,64	155,00	0,09	
33	47,00	1.734,07	329,50	0,19	
34	48,00	1.808,64	41,50	0,02	
35	47,00	1.734,07	135,00	0,08	
36	48,00	1.808,64	304,00	0,17	
37	51,00	2.041,79	1.005,00	0,49	
39	50,00	1.962,50	740,50	0,38	
40	49,00	1.884,79	902,00	0,48	
41	49,00	1.884,79	747,00	0,40	

42	51,00	2.041,79	684,50	0,34	
----	-------	----------	--------	------	---