



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**FERNANDA CAVALCANTI FERREIRA**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO MECANISMO DE ADERÊNCIA DE  
REVESTIMENTOS DE PASTA DE GESSO APLICADOS EM SUBSTRATOS  
POROSOS**

Recife

2021

**FERNANDA CAVALCANTI FERREIRA**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO MECANISMO DE ADERÊNCIA DE  
REVESTIMENTOS DE PASTA DE GESSO APLICADOS EM SUBSTRATOS  
POROSOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade de Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de doutora em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estruturas com ênfase em construção civil.

Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro.

Coorientador: Prof. Dr. José Getúlio Gomes de Sousa.

Recife

2021

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

F383c	<p>Ferreira, Fernanda Cavalcanti. Contribuição ao estudo do mecanismo de aderência de revestimentos de pasta de gesso aplicados em substratos porosos / Fernanda Cavalcanti Ferreira - 2021. 320 folhas, il., gráfs., tabs.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro. Coorientador: Prof. Dr. José Getúlio Gomes de Sousa. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2021. Inclui Referências e Apêndices.</p> <p>1. Engenharia Civil. 2. Gesso. 3. Gesso para revestimento. 4. Revestimento em pasta de gesso. 5. Mecanismo de aderência. I. Carneiro, Arnaldo Manoel Pereira (Orientador). II. Sousa, José Getúlio Gomes de (Coorientador). III. Título</p> <p>624 CDD (22. ed.)</p>	<p>UFPE BCTG/2021-247</p>
-------	---	-------------------------------

**FERNANDA CAVALCANTI FERREIRA**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO MECANISMO DE ADERÊNCIA DE  
REVESTIMENTOS DE PASTA DE GESSO APLICADOS EM SUBSTRATOS  
POROSOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de doutora em Engenharia Civil. Área de Concentração: Estruturas com ênfase em construção civil.

Aprovada em: 25/11/2021.

**BANCA EXAMINADORA**

participação por videoconferência  
Prof. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência  
Profa. Dra. Maria do Rosário da Silva Veiga (Examinadora externa)  
Laboratório Nacional de Engenharia Civil

participação por videoconferência  
Prof. Dr. Valdecir Ângelo Quarcioni (Examinador externo)  
Instituto de Pesquisas Tecnológicas

participação por videoconferência  
Profa. Dra. Karoline Alves de Melo Moraes (Examinadora externa)  
Universidade Federal de Alagoas

participação por videoconferência  
Profa. Dra. Yêda Vieira Póvoas (Examinadora externa)  
Universidade de Pernambuco

À minha amada mãe.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, por ter me recebido para realização deste doutorado.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco, pelo subsídio financeiro.

Ao IF Sertão-PE, pela concessão do afastamento da instituição para finalização deste doutorado, que foi fundamental.

Ao professor Dr. Arnaldo Carneiro, pela oportunidade de tê-lo como orientador no mestrado e no doutorado, meu muito obrigada pela confiança, pelas observações sensatas, pelo conhecimento compartilhado, por todo o suporte e pela sua competência em minha orientação.

Ao professor Dr. José Getúlio Gomes, que desde a graduação na UNIVASF me acompanha e me incentiva, me passando seus ensinamentos, sempre disposto a contribuir. Obrigada por sempre se fazer presente, pelos conselhos, pela paciência e competência. À você, sou eternamente grata.

À banca examinadora, Professores Dra. Yeda Póvoas, Dra Karoline Alves e Dr. Valdecir Quarcioni e Dra. Rosário Veiga, pela disponibilidade para contribuir com o meu trabalho.

À UNIVASF, pelos laboratórios cedidos para realização dos ensaios.

Ao professor Dr. Valdecir Quarcioni, ao químico industrial Anderson Lopes, ao engenheiro químico Sérgio Soares e aos técnicos químicos Jilson Cardoso e Daniel Polato, pela realização dos ensaios de DRX, termogravimetria, análise química e calorimetria isotérmica do gesso, bem como ao IPT pela disponibilização dos laboratórios para realização desses ensaios.

Ao professor Dr. Nelson Cárdenas, por ser tão prestativo para me ajudar na realização dos ensaios mecânicos.

À Silvio e Ricardo, técnicos do Laboratórios de Ensaio de Materiais e Técnicas Construtivas (LABMATEC) da Univasf, pelo auxílio na realização dos ensaios. Obrigada por serem tão atenciosos e prestativos.

À professora Dra Andrea Ferraz, pelas orientações concedidas e disponibilidade para me ajudar, especialmente, na realização das análises por MEV.

À Ginetton e Jarbas, pela atenção e presteza na realização das análises no MEV.

À Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, em especial à Andrea Negromonte, pelo auxílio nas questões das matrículas, defesas e estágios.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFPE, por todos os conhecimentos compartilhados e pela contribuição à minha formação.

Aos laboratórios NEGLABISE, em nome da professora Valderéz Ferreira pela disponibilidade em realizar os ensaios de fluorescência de raio X.

À João, pela preparação das lâminas, pela análise petrográfica e pelas dúvidas sanadas.

Ao Professor Dr. Adilson Chinelatto, da UEPG, pelo auxílio na interpretação dos resultados de porosimetria.

À querida Sheila Daiane, sou grata pela parceria que criamos e pelas ideias dadas para o desenvolvimento deste trabalho. Obrigada pela atenção, presteza e torcida!

À Daniel Bruno, obrigada pela torcida e pelos ensinamentos na realização dos ensaios mecânicos com gesso, quando eu estava começando a trabalhar com este material.

À Murilo, pela contribuição na preparação das amostras para análise por MEV.

Aos colegas que fiz durante o mestrado e doutorado, pela amizade e discussões engrandecedoras: Ayrton, Priscila Basto, Victor, Camilla, Adolpho, Eudes, Tacila, Amanda, Priscila, Geogenes, André, Jofre.

À minha vó Lia (*in memoriam*), que sei que está lá de cima me guiando.

À minha mãe, a melhor que alguém poderia ter. Mãe, muito obrigada por toda sua luta para me ver vencer. Você é a maior responsável por tudo isso. Todo meu amor e gratidão. Você é minha inspiração.

Ao meu esposo, Mário Filho, pela companhia, pela compreensão e pelas inúmeras formas que encontrou de me apoiar sempre. Obrigada pelo suporte, por me acompanhar em cada passo e vibrar com cada vitória. Seu apoio foi imprescindível para a realização deste trabalho.

Ao meu querido irmão Caio, que sempre me incentivou nesta caminhada. Obrigada por todo apoio e ensinamentos. Gratidão por tanto vibrar por mim e me acompanhar em cada conquista.

À minha prima-irmã Malu, que tanto vibra e torce por cada conquista minha. Obrigada por estar sempre perto me acompanhando em cada etapa.

À minha grande amiga, Yane Coutinho. Você é um presente em minha caminhada! Gratidão pela amizade, companheirismo, conselho, orientação, debate e torcida. Ainda vamos realizar muitos planos juntas.

Ao meu querido primo Augusto, pelas dúvidas tiradas no decorrer da realização deste trabalho e pela torcida, meu muito obrigada.

Aos meus sogros, Mário e Rosely, pelo apoio e pela torcida.

À minha família, pela confiança e motivação.

Às minhas amigas do tempo do colégio, pela torcida.

Às minhas amigas da graduação, Jaily, Helza e Sandrine, pela torcida e conhecimentos compartilhados.

À SuperGesso, pelo fornecimento do gesso.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, na realização desta tese.

À Deus, por me iluminar e me permitir chegar até aqui.

## RESUMO

O revestimento em pasta de gesso vem ganhando espaço na construção civil. Contudo, a literatura a respeito da aderência desse tipo de sistema de revestimento é limitada a pequenas investigações experimentais e não se encontra definido o mecanismo de aderência da interface substrato-revestimento e seus fatores intervenientes. Além disso, a NBR 13867 (1997), a NBR 16618 (2017) e a NBR 16689 (2019), voltadas para revestimento interno em gesso, apresentam algumas lacunas em relação ao procedimento de execução dos revestimentos em gesso. Assim, esta pesquisa teve como objetivo contribuir com a avaliação dos fatores intervenientes na aderência e com o entendimento do mecanismo de ligação de sistemas de revestimento executados em pasta de gesso sobre substratos porosos distintos, avaliando a natureza da ligação. Para isso, foi realizada a conciliação de investigações em nível microscópico e macroscópico, com caracterização física, química, mecânica e morfológica dos substratos, das pastas de gesso e da interface pasta-substrato, como ensaios de resistência de aderência à tração, observação por meio de lupa e de microscópio eletrônico de varredura e análise petrográfica. A influência na aderência de variáveis como relação a/g (0,6, 0,8 e 1,0), tratamentos das bases (com ou sem pré-umedecimento, com e sem chapisco) e tipos de bases (blocos cerâmicos, bloco de concreto e concreto liso) foi avaliada. Com a análise dos resultados, verificou-se que a relação a/g da pasta, o pré-tratamento e o tipo de base influenciam na resistência de aderência. A extensão de aderência das pastas foi de, aproximadamente, 100%, independente dos fatores combinados. Quanto à microestrutura da interface dos sistemas analisados, os resultados obtidos indicaram que o mecanismo de aderência é predominantemente mecânico, relacionado com a rugosidade.

Palavras-chave: gesso; gesso para revestimento; revestimento em pasta de gesso; mecanismo de aderência.

## ABSTRACT

The gypsum plaster has gained space in construction. However, the literature on the bond of gypsum plaster paste systems is limited to small experimental investigations and the phenomenon of bond of the substrate-coating interface and its influential factors is not defined. In addition, NBR 13867 (1997), NBR 16618 (2017) and NBR 16689 (2019), aimed at internal plaster coating, present gaps in relation to the procedure for the execution of plaster coatings. Thus, this research aimed to contribute to the study of factors involved in bond and to the understanding of the bonding mechanism of coating systems executed in gypsum plaster paste on different porous substrates, evaluating the nature of the bond. For this, the conciliation of investigations at the microscopic and macroscopic level was carried out, with physical, chemical, mechanical and morphological characterization of the substrates, plaster pastes and paste-substrate interface, such as bond strength tests, analysis of coating systems interfaces through a magnifying glass, scanning electron microscope and petrographic analysis. The influence on bond of variables such as water/binder ratio (0.6, 0.8 and 1.0), base treatments (with or without pre-wetting, with and without roughcast) and types of bases (ceramic and concrete blocks, and concrete) was evaluated. With the analysis of the results, it was verified that the water/binder ratio, the pre-treatment and the type of base influence the bond strength. Thus, the objective of this research is to understand the bond mechanism of plaster coating systems and its intervening factors. The bond extension of the coatings was approximately 100%, regardless of the combined factors. As for the microstructure of the interface of the analyzed systems, the results obtained indicated that the bonding mechanism is predominantly mechanical, related to roughness..

Keywords: hemidrate; gypsum plaster; gypsum plaster paste; bonding mechanism.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Microcalorimetria de um hemi-hidrato .....	36
Figura 2 – Etapas da reação de hidratação através da calorimetria adiabática e tempo útil estimado.....	37
Figura 3 – Influência da temperatura da água no tempo de pega da pasta de gesso .....	38
Figura 4 – Esquema dos dois sistemas de revestimento em pasta de gesso .....	42
Figura 5 – Solicitações impostas às superfícies das edificações revestidas com pasta de gesso .....	43
Figura 6 – Condições de molhamento .....	67
Figura 7 – Modelo de movimento da água do revestimento para o substrato .....	70
Figura 8 – Mecanismo de penetração da pasta da argamassa no substrato. ....	70
Figura 9 – Representação esquemática dos mecanismos de aderência adesivo-substrato .....	74
Figura 10 – Categorias de poros dos materiais de construção.....	76
Figura 11 – Esquema de teste para determinação da taxa de absorção inicial .....	80
Figura 12 – Representação esquemática do plano superficial do substrato .....	84
Figura 13 – Contato substrato-adesivo .....	86
Figura 14 – Resistência de aderência dos revestimentos de gesso sobre substrato cerâmico em função da relação a/g .....	93
Figura 15 – Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa e bloco cerâmico.....	99
Figura 16 – Plano de observação no MEV .....	100
Figura 17 – Sequência do ensaio de resistência de aderência à tração.....	101
Figura 18 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento.....	103
Figura 19 – Representação gráfica do método de otimização de quadrantes .....	105
Figura 20 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento do programa experimental.....	108
Figura 21 – Difrátograma de raio X do gesso (hemi-hidrato).....	111
Figura 22 – Curvas de TGA e DTG do hemi-hidrato.....	112
Figura 23 – Aparelhagem para ensaio de calorimetria pseudoadiabática .....	114
Figura 24 – Curva de hidratação das pastas de gesso produzidas com relação a/g para consistência normal .....	114

Figura 25 – Curvas de fluxo de calor de hidratação de pastas de gessos produzidas com relação a/g para consistência normal .....	116
Figura 26 – Curva de calor de hidratação acumulado pasta de gesso produzida com relação a/g de consistência normal.....	116
Figura 27 – Distribuição cumulativa do tamanho dos poros dos substratos de bloco cerâmico .....	120
Figura 28 – Distribuição cumulativa do tamanho dos poros de amostra de blocos cerâmicos e bloco de concreto.....	121
Figura 29 – Tempos de pega das pastas de gesso .....	123
Figura 30 – Curvas de hidratação das pastas de gesso obtidas por calorimetria pseudoadiabática de acordo com metodologia de Pinheiro (2011) .....	124
Figura 31 – Curvas de fluxo de calor de hidratação de pastas de gessos para consistência normal.....	125
Figura 32 – Curva de calor de hidratação acumulado das pastas de gesso .....	125
Figura 33 – Dureza das pastas de gesso .....	126
Figura 34 – Resistência à compressão das pastas de gesso .....	127
Figura 35 – Resistência à flexão das pastas de gesso .....	127
Figura 36 – Textura superficial das bases .....	129
Figura 37 – Plano de trabalho 1 para análise das variáveis: relação água/gesso, tipo de base e pré-umedecimento .....	131
Figura 38 – Plano de trabalho 2 para análise dos tratamentos de base.....	131
Figura 39 – Alvenarias executadas sobre o piso.....	133
Figura 40 – Processo de mistura do gesso e água.....	133
Figura 41 – Ferramentas e sequência de execução do revestimento .....	134
Figura 42 – Secagem dos revestimentos durante os 28 dias na posição vertical.....	135
Figura 43 – Cortes circulares a seco no revestimento de gesso para colagem das pastilhas..	135
Figura 44 – Pastilhas coladas nos corpos de prova .....	136
Figura 45 – Dinamômetro acoplado na pastilha para aplicação de uma força de tração .....	136
Figura 46 – Local de coleta das amostras nas miniparedes e amostra para análise por meio de lupa: miniparede com revestimento cortada em tiras de 0,5 a 1,0 cm de espessura e cerca de 10 cm de comprimento (revestimento+substrato) .....	139
Figura 47 – Amostras observadas ao MEV .....	141
Figura 48 – Amostras colocadas nos <i>stubs</i> para análise em MEV .....	141

Figura 49 – Etapas de preparação das amostras para análise no MEV .....	142
Figura 50 – Resultados de resistência de aderência dos sistemas de revestimento em pasta de gesso em função do tipo de substrato para cada traço e sem tratamento da base (seco e sem camada de ancoragem).....	145
Figura 51 – Resistência de aderência dos traços 1, 2 e 3 em função da taxa inicial de absorção (IRA) de blocos cerâmicos com tratamentos secos .....	148
Figura 52 – Resistência de aderência dos traços 1, 2 e 3 em função da taxa inicial de absorção (IRA) de blocos de concreto com tratamentos secos.....	149
Figura 53 – Resistência de aderência média em função de absorção total média de substratos cerâmicos secos .....	151
Figura 54 – Resistência de aderência média em função índice de absorção inicial médio de substratos cerâmicos secos .....	151
Figura 55 – Resistência de aderência média em função do coeficiente de absorção médio de substratos cerâmicos secos .....	152
Figura 56 – Relação entre o diâmetro médio dos poros do bloco cerâmico e a resistência de aderência à tração .....	154
Figura 57 – Relação entre a área específica do bloco cerâmico e a resistência de aderência à tração.....	154
Figura 58 – Relação entre a porosidade do bloco cerâmico e a resistência de aderência à tração.....	155
Figura 59 – Resistência de aderência dos revestimentos em bases cerâmicas sem e com pré-umedecimento.....	156
Figura 60 – Resistência de aderência dos revestimentos em bases de bloco de concreto sem e com pré-umedecimento .....	156
Figura 61 – Resultados de resistência de aderência à tração para cada base em função de cada tratamento (pasta de gesso com relação a/g de 0,8).....	159
Figura 62 - Resistência de aderência de pastas de gesso em função do traço para sistemas de revestimento com base de bloco cerâmico, considerando a variação umidade da base .....	162
Figura 63 - Resistência de aderência de pastas de gesso em função do traço para sistemas de revestimento com base de bloco de concreto, considerando a variação umidade da base .....	162

Figura 64 – Resistência de aderência média nas bases cerâmicas em função da resistência à compressão .....	164
Figura 65 – Resistência de aderência média nas bases de bloco de concreto em função da resistência à compressão.....	164
Figura 66 – Resistência de aderência média nas bases cerâmicas em função da resistência à tração na flexão.....	165
Figura 67 – Resistência de aderência média nas bases de bloco de concreto em função da resistência à tração na flexão .....	165
Figura 68 – Resistência de aderência média nas bases de bloco de concreto em função da dureza.....	166
Figura 69 – Resistência de aderência média nas bases de bloco de concreto em função da dureza.....	166
Figura 70 – Resistência de aderência à tração em função do tipo de falha para cada corpo de prova em base de bloco cerâmico .....	168
Figura 71 – Resistência de aderência à tração em função do tipo de falha para cada corpo de prova em base de bloco de concreto .....	168
Figura 72 – Resistência de aderência à tração em função do tipo de falha para cada corpo de prova em base de concreto.....	169
Figura 73 – Resistência de aderência à tração em função do tipo de falha para cada corpo de prova em base de bloco cerâmico com tratamento da base .....	169
Figura 74 – Imagem de lupa estereoscópica com ampliação de 45 x + 20 x da câmera da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8.....	171
Figura 75 – Imagem de lupa estereoscópica da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,8 com ampliação de 45 x + 20 x da câmera.....	172
Figura 76 – Imagem de lupa estereoscópica da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede BCE-SEC-CHC-PGE0,8 com ampliação de 45 x + 20 x da câmera.....	172
Figura 77 – Imagem de lupa estereoscópica da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,8 com ampliação de 45 x + 20 x da câmera.....	173

Figura 78 – Imagem de lupa estereoscópica da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede PC1-SEC-SCH-PGE0,8 com ampliação de 45 x + 20 x da câmera.....	173
Figura 79 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8.....	178
Figura 80 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,8.....	178
Figura 81 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 .....	179
Figura 82 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 .....	179
Figura 83 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,6.....	180
Figura 84 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,8 .....	180
Figura 85 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8.....	181
Figura 86 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede PC1-SEC-CHG-PGE0,8 .....	181
Figura 87 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede PC2-SEC-CHC-PGE0,8.....	182
Figura 88 – <i>Dot mapping</i> da interface da parede PC2-SEC-CHG-PGE0,8 .....	182
Figura 89 – Análise de amostra de bloco cerâmico por MEV com EDS: a) EDS; b) <i>dot mapping</i> do elemento S .....	185
Figura 90 – Análise de amostra de bloco de concreto por MEV com EDS: a) EDS; b) <i>dot mapping</i> do elemento S .....	185
Figura 91 – Mapa do elemento enxofre (S) da amostra de interface do sistema BCO-U0,5-SCH-PGE0,8.....	186
Figura 92 – Morfologias verificadas nos sistemas de revestimento em pasta de gesso .....	188
Figura 93 – Micrografias do a) do chapisco convencional de cimento e b) chapisco de gesso cola.....	188
Figura 94 – Micrografias da parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 (base cerâmica pré-umedecida a 1% com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) com ampliação de 2,5kx.....	189
Figura 95 – Interface da parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 com ampliações de a) 500 e b) 100 vezes .....	190
Figura 96 – Micrografias da interface do BCE-U0,5-SCH-PGE0,8 (base de bloco cerâmico, pré-umedecido a 0,5%, com pasta de gesso com a/g de 0,8) com ampliação de 2,5kx .....	190
Figura 97 – Micrografias da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 (base cerâmica seca com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) com ampliação de 2,5kx .....	191
Figura 98 – Micrografia da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 (base cerâmica seca com pasta de gesso com relação a/g de 0,6) .....	193

Figura 99 – Micrografia das interfaces dos BCE-SEC-SCH-PGE1,0 (base de bloco cerâmico, seco com pasta de gesso com a/g de 1,0).....	194
Figura 100 – Micrografia do revestimento de gesso do sistema BCE-SEC-SCH-PGE1,0 (base de bloco cerâmico, seco com pasta de gesso com a/g de 1,0) com ampliação de kx .....	194
Figura 101 – Micrografias da interface revestimento/substrato da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,6 (base de bloco de concreto seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,6) com diferentes ampliações .....	195
Figura 102 – Micrografia da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8 (base de bloco de concreto seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) .....	196
Figura 103 – Superfície do substrato do sistema BCO-U1,0-SCH-PGE0,6 com ampliações de a) 500x e b) 2,5kx .....	197
Figura 104 – Micrografia da interface revestimento/substrato do sistema BCO-SEC-SCH-PGE0,8 (base de bloco de concreto seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) com ampliação de 2,5 kx .....	198
Figura 105 – Micrografia da parede PC1-SEC-SCH-PGE0,8 (base de concreto lise 1 seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) .....	199
Figura 106 – Micrografia da superfície do substrato do sistema PC2-SEC-SCH-PGE0,8 (base de concreto lisa 2 seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) com ampliação de 1,2 kx.....	200
Figura 107 – Micrografia da interface do sistema PC2-SEC-CHC-PGE0,8 (base de concreto 2 seco com chapisco de convencional de cimento e pasta de gesso com relação a/g de 0,8) .....	201
Figura 108 – Micrografia da interface do sistema PC2-SEC-CHG-PGE0,8 (base de concreto 2 seco com chapisco de gesso cola e pasta de gesso com relação a/g de 0,8) .....	202
Figura 109 - Representação esquemática do mecanismo de aderência entre pasta de gesso e o substrato.....	204
Figura 110 – Imagens da amostra da superfície da base do sistema BCE-SEC-SCH-PGE0,8 .....	205
Figura 111 – Imagens da interface do sistema BCE-SEC-SCH-PGE0,8 .....	205
Figura 112 – Imagens da interface do sistema BCE-SEC-SCH-PGE0,6 .....	205
Figura 113 – Imagens da interface do sistema BCO-SEC- SCH-PGE0,8 com ampliação de 50 x com polarizador descruzado .....	206

Figura 114 – Imagens da amostra da superfície da base do sistema BCO-SEC-SCH-PGE0,8 .....	206
Figura 115 – Imagens da interface do sistema PC1-SEC- SCH-PGE0,8 .....	206
Figura 116 – Imagens da interface do sistema PC2-SEC-CHC-PGE0,8 .....	207
Figura 117 – Imagens da interface do sistema PC2-SEC-CHG-PGE0,8 .....	207
Figura 118 – Imagens da amostra da superfície da base do sistema PC2-SEC-SCH-PGE0,8 .....	207
Figura 119 - Representação esquemática do mecanismo de aderência pasta de gesso-substrato por meio de intertravamento mecânico.....	213

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipos de revestimentos correntes com base em gesso.....	53
Quadro 2 – Principais características de diferentes métodos de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração.....	54
Quadro 3 – Procedimento de obra de preparo das pastas de gesso observado em obra – etapa I .....	59
Quadro 4 – Teorias que explicam os fenômenos de adesão entre os materiais.....	69
Quadro 5 – Métodos utilizados pelos respectivos pesquisadores para análise da interface do substrato e argamassa de cimento.....	100
Quadro 6 – Quadro de variáveis de estudo dos sistemas em revestimento em pasta de gesso .....	128
Quadro 7 – Descrição das nomenclaturas das paredes.....	137
Quadro 8 – Nomenclatura de cada parede/sistema de revestimento .....	138
Quadro 9 – Paredes analisadas por MEV com EDS.....	175
Quadro 10 – Mapa do elemento enxofre (S) das amostras das interfaces dos sistemas de revestimento.....	183
Quadro 11 – Sistemas de revestimento em pasta de gesso estudados por petrografia .....	204

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega).....	48
Tabela 2 – Exigências químicas do gesso sem aditivos para a construção civil. ....	48
Tabela 3 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (granulometria via seca). ....	48
Tabela 4 – Requisitos físicos e mecânicos do gesso para construção civil. ....	48
Tabela 5 – Composição e propriedades físicas de revestimentos de gesso .....	52
Tabela 6 – Requisitos para o revestimento com base em gesso .....	54
Tabela 7 – Desvios máximos de prumo, nível e planeza para os substratos que vão receber revestimento de gesso .....	57
Tabela 8 – Caracterização do gesso no estado anidro .....	109
Tabela 9 – Resultados da análises químicas semi-quantitativas (FRX) do gesso em pó (% em massa) .....	110
Tabela 10 – Resultados da análise química do gesso para revestimento obtidos por via úmida de acordo com a NBR 12130 (2017b) .....	111
Tabela 11 – Composição mineral obtida por cálculo estequiométrico de acordo com a ASTM C 471M – 20ae1 a partir dos resultados da análise química pela NBR 12130 (2017b), apresentada na Tabela 10 .....	111
Tabela 12 – Caracterização do gesso no estado fresco.....	113
Tabela 13 – Caracterização do gesso no estado endurecido.....	117
Tabela 14 – Caracterização dos blocos cerâmicos de vedação .....	117
Tabela 15 – Resultados da análise química semi-quantitativas (FRX) do bloco cerâmico (% em massa) .....	118
Tabela 16 – Caracterização dos blocos cerâmicos com três faixas de absorção distintas .....	119
Tabela 17 – Caracterização da porosidade dos blocos cerâmicos através de porosimetria por intrusão de mercúrio .....	119
Tabela 18 – Caracterização dos blocos de concreto de vedação .....	120
Tabela 19 – Caracterização da porosidade de amostra de bloco de concreto através de porosimetria por intrusão de mercúrio.....	121
Tabela 20 – Caracterização das placas de concreto.....	122
Tabela 21 – Composição dos traços de pasta de gesso.....	123
Tabela 22 – Caracterização da porosidade das amostras de bloco cerâmico. ....	153
Tabela 23 – Resumo das características dos traços e suas propriedades mecânicas .....	163

Tabela 24 – Níveis de extensão de aderência .....	173
Tabela 25 – Profundidade de penetração dos produtos de hidratação do revestimento na base e resistência de aderência dos sistemas .....	212

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAI	Índice de absorção inicial
AA	Absorção total
a/c	Relação água/cimento em massa
a/g	Relação água/gesso em massa
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de variância
ASTM	American Society for Testing and Materials (EUA)
CCAA	Cement Concrete & Association Australia
CP	Corpo de prova
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRX	Difração de raio X
DTA	Differential Thermal Analysis (Análise térmica diferencial)
EN	Norma Européia
FACEPE	Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco
FRX	Fluorescência de raio X
IRA	Índice de absorção inicial
kx	Indicação de ampliação de 1000 vezes
LABMATEC	Laboratórios de Ensaio de Materiais e Técnicas construtivas
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Portugal)
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
NBR	Norma Brasileira
Ra	Resistência de aderência à tração
R <sub>comp</sub>	Resistência à compressão
RI	Resíduos insolúveis
RILEM	Réunion International des Laboratoires D'essais Et Matériaux
SINAT	Sistema de Avaliação Técnica de Produtos inovadores e Sistemas Convencionais
SINDUSGESSO	Sindicato das Indústrias de Gesso do Estado de Pernambuco
SUB	Substrato
TGA	Thermogravimetric Analysis (Análise termogravimétrica)

## LISTA DE SÍMBOLOS

CaO	Óxido de cálcio ou cal livre
CaSO <sub>4</sub>	Anidrita II ou anidrita insolúvel
CaSO <sub>4</sub> .0,5H <sub>2</sub> O	Sulfato de cálcio hemi-hidratado
CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Sulfato de cálcio di-hidratado (gipsita)
CaSO <sub>4</sub> .εH <sub>2</sub> O	Anidrita III ou anidrita solúvel, com ε de 0,06 a 0,11
H <sub>2</sub> O	Água
SO <sub>3</sub>	Anidrido sulfúrico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>26</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	29
1.2	OBJETIVOS .....	30
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo geral.....</b>	<b>31</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>31</b>
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	31
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>33</b>
2.1	O MATERIAL GESSO .....	33
<b>2.1.1</b>	<b>Hidratação.....</b>	<b>35</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Aplicações do gesso.....</b>	<b>40</b>
2.2	SISTEMA DE REVESTIMENTO EM PASTA DE GESSO.....	41
<b>2.2.1</b>	<b>Funções do revestimento.....</b>	<b>42</b>
2.2.1.1	Estanqueidade à água.....	43
2.2.1.2	Conforto térmico.....	44
2.2.1.3	Conforto acústico.....	45
2.2.1.4	Resistência ao fogo.....	45
2.2.1.5	Propriedades mecânicas.....	46
<b>2.2.2</b>	<b>Normatização.....</b>	<b>47</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Condições específicas de produção do revestimento à base de gesso.....</b>	<b>55</b>
2.2.3.1	Preparo da base.....	56
2.2.3.2	Dosagem e mistura.....	58
2.2.3.3	Execução do revestimento.....	59
2.3	ADERÊNCIA .....	61
<b>2.3.1</b>	<b>Mecanismo de aderência revestimento/substrato.....</b>	<b>65</b>
2.3.1.1	Adesão.....	65
2.3.1.2	Aderência da pasta endurecida.....	72
<b>2.3.2</b>	<b>Fatores intervenientes.....</b>	<b>75</b>
2.3.2.1	Substrato.....	75
2.3.2.1.1	<i>Estrutura de poros.....</i>	<i>76</i>
2.3.2.1.2	<i>Capacidade de sucção.....</i>	<i>80</i>
2.3.2.1.3	<i>Efeitos de pré-tratamentos e texturas superficiais.....</i>	<i>83</i>

2.3.2.2	Pasta.....	88
2.3.2.2.1	<i>Materiais constituintes.....</i>	89
2.3.2.2.2	<i>Propriedades das pastas e argamassas .....</i>	94
2.3.2.3	Mão de obra .....	95
2.3.2.4	Fatores extrínsecos.....	96
2.3.2.4.1	<i>Condições de cura .....</i>	96
2.3.2.4.2	<i>Evolução da resistência ao longo do tempo .....</i>	97
<b>2.3.3</b>	<b>Microestrutura da interface revestimento/substrato .....</b>	<b>98</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Métodos para avaliação da resistência de aderência.....</b>	<b>100</b>
2.4	DESTAQUES DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO .....	105
<b>3</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>108</b>
3.1	MATERIAIS UTILIZADOS E CRITÉRIOS PARA ESCOLHA.....	108
<b>3.1.1</b>	<b>Caracterização do gesso em pó .....</b>	<b>109</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Caracterização dos substratos .....</b>	<b>117</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Traços empregados .....</b>	<b>122</b>
3.2	PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO PARA AVALIAÇÃO DOS REVESTIMENTOS EM PASTA DE GESSO .....	128
<b>3.2.1</b>	<b>Variáveis estudadas .....</b>	<b>128</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Condições fixas.....</b>	<b>131</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Procedimentos .....</b>	<b>132</b>
3.2.3.1	Execução dos substratos .....	132
3.2.3.2	Dosagem e mistura dos traços .....	133
3.2.3.3	Execução dos revestimentos .....	134
3.2.3.4	Processo de secagem.....	134
3.2.3.5	Avaliação da resistência de aderência à tração.....	135
3.2.3.6	Avaliação da interface revestimento-substrato por meio de lupa estereoscópica. .....	139
3.2.3.7	Observação e análise da interface revestimento-substrato por meio de microscópio eletrônico de varredura (MEV) .....	140
3.2.3.8	Análise petrográfica.....	142
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>144</b>
4.1	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO .....	144
<b>4.1.1</b>	<b>Influência do tipo de substrato .....</b>	<b>144</b>

4.1.2	<b>Influência do pré-umedecimento da base</b> .....	155
4.1.3	<b>Influência da camada de ancoragem na base</b> .....	159
4.1.4	<b>Influência da relação água/gesso</b> .....	161
4.1.5	<b>Tipo de ruptura</b> .....	167
4.2	EXTENSÃO DE ADERÊNCIA .....	171
4.3	MICROESTRUTURA DA INTERFACE REVESTIMENTO/SUBSTRATO ..	174
4.3.1	<b>Penetração da pasta ligante no substrato</b> .....	177
4.3.2	<b>Morfologia e natureza dos produtos hidratados da interface</b> .....	187
4.3.3	Considerações sobre os resultados do estudo com o MEV .....	203
4.4	ANÁLISE PETROGRÁFICA .....	204
4.5	CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS MACRO E MICROESTRUTURAIS ..	208
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>214</b>
5.1	FATORES INTERVENIENTES NA ADERÊNCIA .....	214
5.2	MECANISMO DE ADERÊNCIA .....	216
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	217
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>219</b>
	APÊNDICE A – RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DO GESSO EM PÓ PARA REVESTIMENTO .....	239
	APÊNDICE B – RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS .....	242
	APÊNDICE C – RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO .....	246
	APÊNDICE D – RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS DE CONCRETO .....	248
	APÊNDICE E – CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS DE ESTUDO .....	249
	APÊNDICE F – MAPA DOS BLOCOS NAS PAREDES .....	252
	APÊNDICE G – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA .....	253
	APÊNDICE H – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA .....	262
	APÊNDICE I – IMAGENS DAS INTERFACES VISUALIZADAS POR LUPA .....	278
	APÊNDICE J – <i>DOT MAPPING</i> .....	291

APÊNDICE K – MICROGRAFIAS DAS AMOSTRAS DOS SISTEMAS DE REVESTIMENTO À BASE DE GESSO.....	314
--	-----

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem passado por um desenvolvimento tecnológico em busca do melhoramento da qualidade dos seus produtos. Surgem novas técnicas construtivas, com o objetivo de produzir mais com baixo custo e alta qualidade (FERREIRA, 2017). Na tentativa de otimizar parte deste setor, faz-se necessária uma reavaliação de seus serviços, entre os quais se pode destacar o revestimento interno de paredes e tetos.

No Brasil, um dos revestimentos mais empregados são aqueles com argamassas inorgânicas contendo cimento como ligante principal. Porém, a pasta de gesso para revestimento interno, que é obtida por meio de dosagem de água e gesso em pó para revestimento (hemi-hidrato), podendo ser inseridos aditivos na mistura, começou a ganhar espaço na construção civil para ambientes internos. De acordo com Monteiro, Melo e Uchôa (2010), o gesso é um material de boa aceitação na indústria da construção civil.

O sistema de revestimento com base em gesso apresenta semelhanças com o sistema de revestimento em argamassa de cimento. No entanto, o gesso apresenta condições de competitividade bastante satisfatórias, entre elas o endurecimento rápido, que permite uma elevada produtividade e a lisura da superfície endurecida que beneficia a qualidade do acabamento final (JOHN, CINCOTTO, 2007).

As propriedades mecânicas de grande interesse para gesso de revestimento são resistência à compressão, resistência de aderência à tração e dureza. Entretanto, na NBR 12129 (2019c) – Gesso para construção: Determinação das propriedades mecânicas, percebe-se que a determinação de propriedades mecânicas do gesso para construção civil se limita ao ensaio de dureza. A compressão não é uma propriedade muito importante para o revestimento de gesso, mas uma caracterização do material com a resistência à compressão se justifica por ser uma propriedade com menor variação nos resultados, podendo ser utilizada como controle da qualidade. Nesse caso, também a norma de gesso nem considera mais essa propriedade em gesso para pré-moldados. A NBR 13207 (2017a): Gesso para construção civil – Requisitos inseriu uma orientação de que o gesso para construção civil deverá apresentar uma resistência de aderência de, no mínimo, 0,2 MPa, mas não apresenta método de ensaio para determinação.

A recém lançada NBR 16689 (2019d) – Gesso modificado: métodos de ensaio, que aborda métodos de ensaio para o gesso modificado, definido como mistura de gesso, aditivo e cargas

minerais, orienta qual norma utilizar para estas propriedades, contudo, não apresenta normatização com limites de valores que devem ser atendidos.

É consenso geral que a aderência é uma das propriedades mais importantes para os sistemas de revestimento. De acordo com Dias e Cincotto (1995), a importância dessa avaliação está relacionada a diagnósticos mais precisos de descolamentos, verificados na interface base-revestimento, além da possibilidade de estudos em laboratório na busca de melhoramento da aderência do revestimento. A NBR 15575 (2021) – Edificações habitacionais – Desempenho institui um nível de desempenho mínimo para os elementos da edificação ao longo de uma vida útil. Portanto, necessita-se de uma maior qualidade nos serviços e materiais empregados, sendo, neste contexto, dos revestimentos à base no ligante gesso: pastas e argamassas

A aderência é uma propriedade que abrange vários conceitos e parâmetros que dificultam o seu entendimento e a formulação de uma teoria universal que a explique (COSTA, 2014). A análise dos mecanismos de aderência entre argamassas de revestimento e substratos porosos e os fatores intervenientes têm sido alvo de muitos pesquisadores, devido à sua importância (CARVALHO, 2016). Para o sistema de revestimento em argamassas de cimento esses fatores são conhecidos, pois já foram estudados por diversos autores, como Carasek (1996), Carasek, Cascudo e Scartezini (2001), Costa e Carasek (2009), Costa (2007, 2014), Détriché e Grandt (1981), Gonçalves (2004), Lamana, Delfin e Bullemore (1970), Lawrence e Cao (1988), Leal (2003), Kampf (1963), Paes (2004), Palmer e Parsons (1934), Polito, Carvalho Júnior e Brandão (2010), Ribar e Dubovoy (1988), Tristão (1995), além de outros no meio nacional e internacional.

A conciliação entre os estudos em nível microscópico e em nível macroscópico pode formular um melhor entendimento sobre os mecanismos de aderências de revestimento com o substrato (CAMPOS, 2014; CARASEK, 1996; LAWRENCE, CAO, 1988; SILVA, 2004).

Vasta é a quantidade de estudos acerca dos fatores influentes e o mecanismo de aderências de revestimentos de argamassa de cimento. Também já se conhece o mecanismo de aderência desses materiais com o substrato. O conhecimento das propriedades do substrato e dos revestimentos, bem como a interação entre ambos, é preceito para obtenção de sistemas de revestimento duráveis e eficientes.

Entretanto, diferente do que ocorre no meio técnico nacional de revestimentos de argamassas de cimento, a literatura a respeito da aderência dos sistemas de revestimento em pasta de gesso

é limitada à pequenas investigações experimentais de Dias e Cincotto (1995), Delgado e Pires Sobrinho (1997), Hincapie *et al.* (1997), Sousa, Almeida e Almeida (2015), Neves (2018) e Costa e Silva, Delgado e Azevedo (2021). Todos avaliaram a aderência por ensaio de resistência de aderência à tração e somente os dois primeiros citados estudaram, também, argamassas de gesso, além de pastas (hemi-hidrato + água).

Demais pesquisas com pastas de gesso não tratam da avaliação da capacidade aderente do gesso, apresentando outros focos. Não são encontrados estudos que norteiem o fenômeno de aderência da interface substrato-sistema de revestimento em pasta de gesso, incluindo influência das características da base, espessuras, composição do revestimento, umidade, idade do revestimento, os tipos de ruptura que caracterizam esse tipo de sistema, bem como a caracterização do mecanismo de aderência.

A ABNT apresenta a NBR 13867 (1997) – Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso - Materiais, preparo, aplicação e acabamento, a NBR 16618 (2017e) – Revestimento interno de gesso de paredes e tetos – Procedimento, ambas voltadas para gesso com funções de revestimento e a NBR 16689 (2019d) – Gesso modificado: métodos de ensaio. Contudo, apresentam lacunas para definição de processos construtivos (da execução à avaliação do produto final) para esse tipo de revestimento, pois se tem os questionamentos acerca dos tempos de espera para aplicação da pasta de gesso e realização do acabamento, quando e quais os tratamentos devem ser realizados nas diferentes bases, os desvios máximos de prumo, nível e planeza para uma base que vai receber um revestimento em pasta de gesso, valores máximos e mínimos de espessura indicados, tipos de revestimento possíveis e metodologias para avaliação do produto acabado.

A partir dos aspectos apresentados, verifica-se que há uma necessidade de complementação de informação aos questionamentos relatados a normatização brasileira e que ainda são incipientes os estudos de avaliação da resistência de aderência de revestimentos em pasta de gesso, não havendo conhecimento de quais e como os fatores influenciam essa propriedade, e como ocorre o fenômeno de ligação do sistema de revestimento com a base.

Do exposto, poder-se-ia fazer um estudo por analogia às argamassas de cimento, de modo que os mesmos fatores que influenciam na aderência das argamassas, podem influenciar também a pasta de gesso no sistema de revestimento, sendo fatores determinantes.

Os princípios que regem a aderência são, fundamentalmente, os mesmos para quaisquer que sejam os materiais utilizados: material adesivo<sup>1</sup> é aplicado no estado plástico em um material sólido (o substrato); após isso, o material adesivo modifica seu estado quimicamente e/ou fisicamente (ADDLESON, 1992 apud GONÇALVES, 2004). O pesquisador explica que argamassas de assentamento, gessos e revestimentos endurecem, outros como os polímeros e os elastômeros ficam plásticos ou elásticos.

Tem-se uma visão intuitiva de que a aderência é produzida pela penetração da pasta de ligante nos vazios e poros das unidades de alvenaria, então, fatores como a sucção do bloco, a trabalhabilidade, o teor de ligante devem ser estudados. Destas variáveis, depreende-se outras que devem ser investigadas (LAMANA, DELFIN, DULLEMORE, 1970). Contudo, não se pode aplicar as conclusões obtidas em argamassas de cimento nos sistemas de revestimento de gesso, pois gesso e cimento são materiais com características e propriedades distintas.

Neste contexto, a presente tese de doutorado contempla o estudo dos fatores intervenientes e contribui com o entendimento do mecanismo de ligação de sistemas de revestimento executados em pasta de gesso sobre substratos porosos, avaliando a natureza da ligação. Para isso, métodos de caracterização física, química, mecânica e morfológica dos substratos, das pastas de gesso e da interface pasta-substrato, são imprescindíveis para o desenvolvimento do estudo.

Este trabalho é um projeto aprovado pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e é continuação da dissertação de mestrado, que avaliou gessos para revestimento do Polo Gesseiro do Araripe, desde a caracterização química, física, mecânica e microestrutural ao produto acabamento (resistência de aderência).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Este trabalho se justifica do ponto de vista técnico e econômico. Tecnicamente, as vantagens do revestimento à base de gesso incluem, quando em pasta (hemi-hidrato + água), aplicação em camada única, substituindo as camadas (emboço e reboco) do sistema tradicional, diminui a carga da parede, pouca necessidade de massa corrida no acabamento final, reduz o número de operários na execução, é um material higroscópico, boa resistência ao fogo e é um material sustentável devido à pouca energia incorporada (FERREIRA, 2017).

---

<sup>1</sup> O termo é usado pelo autor para designar qualquer agente da aderência, e não somente para materiais comumente conhecidos ou utilizados como adesivos (GONÇALVES, 2004).

O meio técnico nacional apresenta anseios por regulamentações e especificações de controle de produção, aplicação e qualidade do produto final para garantia da vida útil dos revestimentos em pasta de gesso. Sendo assim, torna-se fundamental conhecer os materiais, a interação pasta-substrato, os mecanismos de ligação e os fatores intervenientes, que não estão bem definidos na literatura. A partir do presente estudo, serão discutidos alguns aspectos acerca da execução do revestimento em pasta de gesso, como a necessidade de pré-umedecimento da base, a utilização de camada de ancoragem e qual tipo, as relações a/g empregadas no revestimento, em quais tipos de base empregar esse tipo de revestimento, de forma a apontar orientações para execução desse tipo de sistema de revestimento.

Estas recomendações somente podem ser elaboradas com base no suficiente conhecimento científico e tecnológico, o qual, por sua vez, é fruto de intensas pesquisas experimentais com os materiais e técnicas locais.

Do ponto de vista econômico, o gesso é um material de baixo custo quando se compara com o preço do saco de cimento no Brasil, uma vez que este último é um dos ligantes mais utilizados para revestimentos de argamassas, apresenta menor tempo de aplicação, o que reduz também o custo de mão de obra. Além disso, é reciclável e, se souber utilizá-lo, não há desperdício.

O Brasil apresenta uma das maiores reservas mundiais de gipsita e não explora, o que acarreta um grande prejuízo para indústria (FERREIRA, 2017). Sendo assim, é importante destacar a necessidade de potencializar a exploração e uso de gesso, como forma de movimentar a economia nacional, bem como pela possibilidade de se conhecer mais o material e utilizá-lo em aplicações de maior valor agregado (BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014). Um material mais estudado e confiável contribui para sua utilização.

A área de sistemas de revestimento em pastas e argamassas de gesso oferece muitas opções para linhas de pesquisa, tanto a nível de mestrado, como de doutorado, com possibilidade de aperfeiçoar processos e capacitar mão de obra.

## 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo estão apresentados a seguir.

### **1.1.1 Objetivo geral**

A presente tese de doutorado tem como objetivo contribuir com a avaliação dos fatores intervenientes na aderência e com o entendimento do mecanismo de ligação de sistemas de revestimento executados em pasta de gesso sobre substratos porosos distintos, avaliando a natureza da ligação.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

O objetivo geral será alcançado por meio dos seguintes objetivos específicos:

1. Verificar os fatores ligados ao substrato, como tipo/material, porosidade, absorção, que influenciam no fenômeno de aderência dos revestimentos;
2. Avaliar a influência do tipo de tratamento da base (com ou sem pré-umedecimento, com e sem chapisco, tipo de chapisco) no fenômeno de aderência dos revestimentos;
3. Verificar a influência da relação água/gesso empregada na pasta de gesso no mecanismo de aderência dos revestimentos às bases porosas;
4. Investigar, sob a óptica microestrutural, como ocorre o mecanismo de aderência entre as pastas de gesso e os diferentes substratos.

## **1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta tese se encontra estruturado em 5 capítulos. No presente capítulo (Capítulo 1), apresenta-se a introdução, a justificativa, além dos objetivos para estudo.

O segundo capítulo apresenta uma fundamentação teórica sobre o material gesso, como tipos, hidratação e aplicações. Em sequência, trata-se do sistema de revestimento em pasta de gesso, com suas funções, materiais constituintes, normatização e condições específicas de produção e de acabamento e fatores influentes no desempenho. Estes conteúdos abordados embasam os demais assuntos tratados em sequência, que focam na aderência dos revestimentos, como seus mecanismos e seus fatores intervenientes, como características dos substratos de aplicação, do revestimento de gesso, da mão de obra/processo executivo e dos fatores extrínsecos. Após estes conteúdos, aborda-se as formas de estudo e caracterização microestrutura da interface revestimento/substrato e os métodos para quantificação e avaliação da resistência de aderência.

Para construção deste capítulo, foram consultadas bibliografias do meio técnico nacional e internacional, desde publicações clássicas sobre o assunto, que tratam sobre argamassas de cimento quando se iniciaram os estudos das interfaces dos sistemas de revestimentos, até as atuais que pudessem contribuir com o projeto estudado.

O terceiro capítulo apresenta o planejamento experimental, onde estão relatados os materiais, métodos de ensaio e de estudo estatístico empregados na pesquisa. No quarto capítulo, aborda-se os resultados obtidos com os ensaios de laboratório e as discussões a respeito destes, sendo finalizado com um tópico com a correlação de todos os resultados obtidos. No quinto capítulo, são feitas as considerações finais sobre a pesquisa e sugestões de trabalhos futuros para continuidade e aprofundamento dos estudos nesta mesma linha de pesquisa.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, inicialmente, apresenta-se uma fundamentação teórica sobre o material gesso, como tipos, hidratação e aplicação. Em sequência, trata-se do sistema de revestimento à base de gesso, com suas funções, materiais constituintes, normatização, condições específicas de produção e de acabamento e metodologia de execução.

A partir disso, trata-se da aderência dos revestimentos, como seus mecanismos de aderência e seus fatores intervenientes. Aborda-se também, formas de estudo e caracterização microestrutura da interface revestimento/substrato e os métodos para quantificação e avaliação da resistência de aderência.

Apesar do revestimento em pasta de gesso ser utilizado corriqueiramente, são poucos os estudos encontrados sobre a aderência desses revestimentos. Entretanto, numerosa é a quantidade de trabalhos acerca da aderência de sistemas de revestimento em argamassa de cimento, sendo os primeiros estudos no mundo datados na década de 30 com argamassas de assentamento (CARASEK, 1996). Embora os sistemas de revestimento de cimento e gesso apresentem semelhanças, há diferenças associadas às distintas características e propriedades desses ligantes.

Neste contexto, fez-se algumas analogias às argamassas de cimento, de modo que os mesmos fatores que influenciam na aderência das argamassas de cimento, podem influenciar também a pasta de gesso no sistema de revestimento, sendo fatores determinantes. Assim, diversos trabalhos acerca da aderência de argamassas de cimento foram consultados.

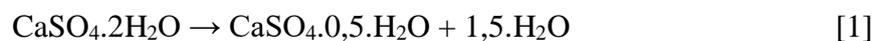
### 2.1 O MATERIAL GESSO

O gesso é um ligante aéreo, ou seja, depois de endurecido, não resiste à ação da água. A NBR 13207 (2017a) define o gesso para construção como um material proveniente da gipsita ou resíduos de gesso, constituído predominantemente de sulfato de cálcio di-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), calcinado e reduzido a pó, podendo conter adições e/ou aditivos, além de anidrita e impurezas, como sílica, alumina, óxido de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio (BAUER, 2000).

Em função da temperatura e pressão utilizadas na calcinação, podem ser obtidos cinco tipos de gesso, com diferentes propriedades nos estados fresco e endurecido (JOHN, CINCOTTO, 2007). O hemi-hidrato de cálcio  $\alpha$  ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) é o primeiro tipo, obtido por calcinação sob

pressão de vapor de água saturante. Os outros quatro tipos são obtidos em pressão próxima a atmosférica: hemi-hidratos ou hemi-hidrato  $\beta$  ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), anidrita III ou anidrita solúvel ( $\text{CaSO}_4 \cdot \varepsilon\text{H}_2\text{O}$ , com  $\varepsilon$  de 0,06 a 0,11), anidrita II ou anidrita insolúvel ( $\text{CaSO}_4$ ) e anidrita I ou anidrita- $\alpha$  ( $\text{CaSO}_4$ ) (CINCOTTO, AGOPYAN, FLORINDO, 1985; JOHN, CINCOTTO, 2007; LEWRY, WILLIAMSON, 1994a, 1994b; MONÇÃO JUNIOR, 2008, PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008; PINHEIRO, 2011).

O hemi-hidrato ou hemi-hidrato  $\beta$  ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) é tipo mais comum de gesso para construção. A depender da temperatura e pressão, o número de moléculas de água de cristalização varia entre 0,15 e 0,66, com o valor típico de 0,5, de onde origina o nome hemi-hidrato (JOHN, CINCOTTO, 2007). A temperatura de calcinação para a produção deste tipo de gesso é de  $140^\circ$  a  $160^\circ\text{C}$  e sua reação química está apresentada na Equação 1 (BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014). O hemi-hidrato tem uma composição formada por 93,79% de sulfato de cálcio e 6,21% de água de cristalização.



No Brasil, a calcinação em pressões próximas a atmosféricas produz o hemi-hidrato  $\beta$  que pode ser de fundição ou de revestimento. O gesso de fundição é utilizado para a confecção de pré-moldados de gesso. O gesso de revestimento de aplicação manual é utilizado para paredes e tetos, geralmente em substituição de rebocos e/ou massas para acabamento (BALTAR, BASTOS, BORGES, 2004), em ambientes internos. A partir dos hemi-hidratos  $\alpha$  ou  $\beta$ , pode-se obter gessos para outros fins, como para indústria cerâmica, indústria do vidro, carga mineral, indústria farmacêutica, decoração, giz escolar, produtos ortopédicos e dentais e bandagens de alta resistência (REGUEIRO E LOMBARDEIRO, 1997 apud BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005). Outras variações podem ocorrer. A exemplo, San-Arauz (2009) verificou que o gesso de Albarracín (Espanha) é composto por anidrita e impurezas ativas e inertes. Esta anidrita em conjunto com as impurezas ativas<sup>2</sup> determinadas, em períodos sucessivos de tempo, melhoram as propriedades físicas e mecânicas da argamassa ao longo do tempo, e em presença de umidade.

---

<sup>2</sup> A composição química das impurezas ativas é muito variável, sendo, geralmente de alto teor de manganês. Em geral, é semelhante composição à das argilas com alto teor de manganês, baixo teor de alumínio e presença constante de ferro.

### 2.1.1 Hidratação do gesso

A utilização do gesso ocorre por meio da hidratação do material, que retorna à composição de  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Essa reação química é o que promove o endurecimento e a resistência mecânica da pasta. Esses fenômenos são explicados pelo mecanismo de hidratação do gesso (ANTUNES, 1999; GARTNER, 2009; HINCAPIÉ, CINCOTTO, 1997; JOHN, CINCOTTO, 2007). A hidratação do hemi-hidrato é dada pela Equação 2:



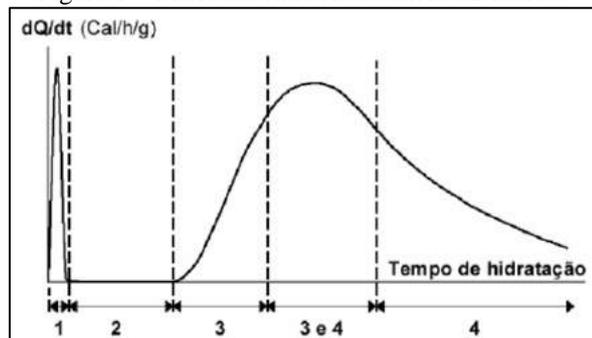
As reações de hidratação do pó de gesso são distintas, pois depende da composição do material. Numa ordem de hidratação dos constituintes de mais rápida hidratação para de mais lenta, tem-se: a anidrita III, o hemi-hidrato, anidrita II e anidrita I. Portanto, sendo a hidratação da anidrita II mais lenta que a do hemi-hidrato, a sua hidratação preenche os vazios e impede a retração de secagem que causaria a fissuração (LE COVEC, 1978 apud JOHN, CINCOTTO, 2007). Ou seja, a anidrita II, ao se hidratar, atua como compensador de retração do hemi-hidrato recém hidratado.

Antunes e John (2000) e Karni e Karni (1995) explicam o mecanismo de hidratação que Le Chatelier (1997) descreveu em três etapas. O primeiro como sendo o fenômeno químico da dissolução, quando o gesso em pó é misturado com a água, os cristais do hemi-hidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) se dissolvem, o que produz uma solução saturada de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . O segundo é o fenômeno físico da cristalização, quando a solução fica supersaturada, os cristais de di-hidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) precipitam-se em formato de agulhas. O terceiro é o fenômeno mecânico do endurecimento, com o aumento da concentração dos cristais. Devido à baixa solubilidade, sua cristalização ocorre antes da dissolução total do hemi-hidrato (JOHN, CINCOTTO, 2007).

Neste contexto, faz-se importante definir a pega do gesso. De acordo com Antunes e John (2000), pode ser descrita segundo um fenômeno físico, onde o início da reação corresponde à formação de núcleos de cristais de gipsita que crescem durante o período de indução e, após esse período, os cristais de di-hidrato começam a precipitar ocasionando um aumento na consistência da pasta conhecido como início da pega. Com o aumento da taxa da reação de hidratação, a pasta vai adquirindo cada vez mais consistência até o seu completo endurecimento; diz-se então que se deu o fim da pega.

Magnan (1973 apud JOHN e CINCOTTO, 2007) explica a hidratação do gesso por meio de quatro etapas, que podem ser visualizadas nos resultados de microcalorimetria, conforme Figura 1. A etapa 1 é a dissolução, que consiste num primeiro pico de molhagem, quando a água entra em contato com o pó. Nesta etapa, pode-se verificar alguns hidratos poucos estáveis física e quimicamente. A etapa 2 corresponde ao período de indução. Nesta fase, os hidratos se estabilizam química e fisicamente, organizando-se em um arranjo cristalino. À medida que a hidratação evolui, a concentração de íons e de núcleos diminui. Na etapa 3, a solução se torna supersaturada e os hidratos precipitam-se formando cristais, a água disponível vai reduzindo e aumenta-se o volume de sólidos. Esta etapa se inicia no final do período de indução, coincidindo com o início da pega e tem um forte aumento da temperatura. Na etapa 4, há uma redução da velocidade de hidratação, após a curva passar por um ponto máximo. Em seguida, a velocidade de hidratação decresce chegando ao fim da hidratação. Nesta fase, ainda há o crescimento de cristais; depois de um tempo, a reação finaliza, pois, a concentração de íons alcançou um valor mínimo.

Figura 1 – Microcalorimetria de um hemi-hidrato

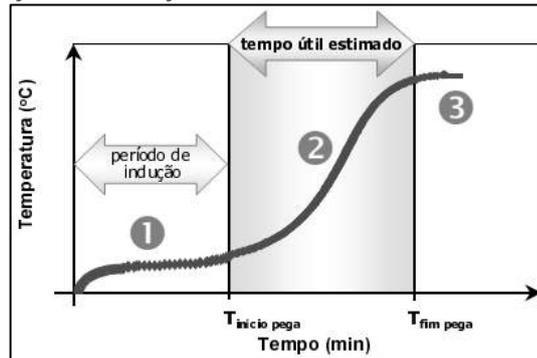


Fonte: MAGNAN, 1973 apud JOHN, CINCOTTO, 2007.

A transformação da anidrita III em hemi-hidrato corresponde ao primeiro pico na evolução total do calor de hidratação, enquanto o segundo pico está associado à transformação do hemi-hidrato em di-hidrato (TYDLITÁT, MEDVED, CERNÝ, 2012).

Por meio de curvas da variação da temperatura em função do tempo, obtidas por calorimetria adiabática, também pode-se verificar o mecanismo de hidratação e explicar o fenômeno da pega das pastas de gesso, conforme Clifton (1973), na Figura 2, sendo o período de indução, a evolução da reação de hidratação e conclusão da hidratação, respectivamente, representados pelos trechos 1, 2 e 3. De acordo com Schmitz e Póvoas (2009), por esta curva, pode-se obter a faixa de consistência adequada para sua utilização.

Figura 2 – Etapas da reação de hidratação através da calorimetria adiabática e tempo útil estimado



Fonte: ANTUNES, JOHN, 2000.

O crescimento do cristal terá influência na microestrutura e, conseqüentemente, nas propriedades mecânicas do produto endurecido. Dois tipos de composição cristalina podem ser formados: cristais formados a partir de poucos núcleos, onde os cristais possuem tamanho grande, ou a partir de numerosos núcleos, com cristais pequenos (HENAO, 1997 apud BALTAR, 2009). Baltar (2009) explica que, no caso de cristais formados a partir de numerosos pontos de nucleação, o tempo necessário para que eles cresçam e fiquem entrelaçados uns com os outros, será menor. Logo, terá o seu tempo de pega reduzido. Microestruturas formadas por cristais grandes são menos resistentes e mais porosas que as formadas por cristais pequenos, que são mais densas (SCHMITZ, PÓVOAS, 2009).

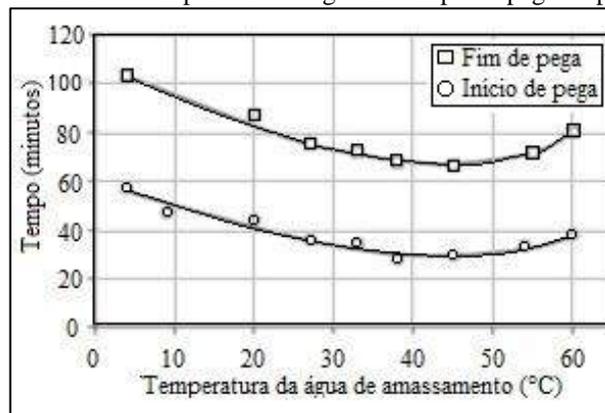
Vários fatores podem interferir na cinética de hidratação do gesso. De maneira sucinta, são eles:

- **Granulometria:** Uma maior área superficial específica acarreta maior reatividade e quantidade de água para envolver todas as partículas (CANUT, 2006). Adrien *et al.* (2016) mostraram que um papel crítico é desempenhado pelo tamanho de partícula (finura) de hemi-hidrato: pequenas partículas de hemi-hidrato são rapidamente dissolvidas, ao contrário das partículas maiores que ainda não são completamente dissolvidas muito depois do material ter começado a endurecer. Os autores também mostraram que a dissolução final das maiores partículas levou à formação de mesoporos no produto final.
- **Relação água/gesso:** É um dos parâmetros de maior influência na reação de hidratação. Barbosa, Ferraz e Santos (2014) constataram o aumento da porosidade com aumento da relação a/g. Ferreira (2017) verificou o aumento no tempo de pega utilizando o aparelho de Vicat e por calorimetria pseudoadiabática. A autora também verificou uma queda da temperatura máxima atingida pela pasta durante a hidratação com o aumento da relação a/g. Kanno (2009) e John e Cincotto (2007) explicam que a relação a/g necessária para

a hidratação do gesso é de 0,186. No entanto, adiciona-se mais, entre 0,6 e 1,0, para que ela se torne trabalhável. Este excesso de água que não reage ocupa volume e, durante a conformação, evapora, deixando vazios na microestrutura. John e Cincotto (2007) também explicam que quanto menor for esta relação, mais rápida é a pega, pois os produtos hidratados ficam próximos fechando a estrutura tridimensional rapidamente.

- Temperatura da água de amassamento: Clifton (1973) mostra que, conforme Figura 3, até 45°C, tem-se um aumento da solubilidade do hemi-hidrato com aumento da temperatura e, por consequência, uma redução do tempo de pega. Os tempos de pega voltam a aumentar acima desta temperatura.

Figura 3 – Influência da temperatura da água no tempo de pega da pasta de gesso



Fonte: CLIFTON, 1973.

- Processo de mistura: Magnan (1973 apud JOHN e CINCOTTO, 2007) explica que o processo de mistura pode acelerar a hidratação das pastas de gesso por facilitar a dispersão do pó na água de amassamento e, de acordo com Antunes e John (2000), isto leva à formação de mais núcleos de cristalização. Nos estudos de Cardoso *et al.* (2009), o gesso puro foi acelerado quando misturados mecanicamente devido à formação de sementes para a nucleação de cristais di-hidratados.
- Impurezas: John e Cincotto (2007) explicam que algumas impurezas em pequenas quantidades podem não afetar as propriedades; porém, outras espécies químicas podem aumentar o tempo de pega, como no caso dos aditivos. A gipsita não calcinada atua como núcleo de cristalização acelerando a pega. Esse teor de gipsita não calcinada também reduz a porosidade, pois não colabora com a expansão do material. As diferentes variedades mineralógicas, selenita, alabastro e gipso fibroso, alteram as características do hemi-hidrato. Os minerais solúveis em água, como halita e silvita, afetam a temperatura de calcinação e propriedades da pasta fresca, como consistência e

o tempo de pega; e, os minerais hidratados, como outros sais de sulfato e a montmorilonita, quando se desidratam juntamente com a gipsita, após endurecimento, podem absorver água.

- Aditivos modificadores de pega: Existem dois tipos de aditivos controladores de pega: os aceleradores e os retardadores. Os aceleradores aumentam a solubilidade do hemi-hidrato, conseqüentemente, acelerando a hidratação. Já os retardadores, Antunes e John (2000) explicam que estes não ampliam necessariamente o tempo útil<sup>3</sup> e que são de dois tipos: os que ampliam o período de indução causando o deslocamento da curva de calor de hidratação e os que interferem na cinética da formação da microestrutura do di-hidrato. Os autores explicam que os aditivos que retardam a pega através da ampliação do período de indução não exercem influência sobre o tempo útil das pastas com relações água/gesso utilizadas em obra; já os aditivos que alteram a taxa de formação da estrutura exercem influência sobre o tempo útil, mas apesar de ampliarem consideravelmente os tempos de início e fim de pega não ampliam na mesma ordem de grandeza o tempo útil. Os aditivos geralmente alteram as propriedades da superfície dos cristais que levam a mudanças na nucleação, crescimento e cinética de hidratação, resultando em variações no tamanho e morfologia, bem como no hábito de cristais<sup>4</sup> (RIDGE, 1960 apud SONG *et al.*, 2010).

Uma das formas de avaliação da hidratação do gesso no Brasil é pelo método da NBR 12128 (2019b), por analogia ao ensaio de pega empregado para cimentos. Entretanto, de acordo com Antunes e John (2000), este ensaio apresenta algumas limitações, uma vez que foi concebido para um ligante que possui intervalo de utilização diferente.

Stav e Bentur (1995 apud ANTUNES, JOHN, 2000) explicam que no início de pega determinado pela agulha de Vicat, seguindo a NBR 12128 (2019b), aproximadamente, 10 % de di-hidrato já está formado e, no final da pega, verifica-se que a pasta já está muito rígida, de modo que se torna inutilizável.

Ferreira (2017) confirma, por meio de seus estudos, que os tempos de início e fim de pega determinados pela NBR 12128 (2019b) são de pouca utilidade para o construtor, unicamente

---

<sup>3</sup> Tempo disponível para a aplicação do revestimento em pasta de gesso, ou seja, o intervalo de tempo em que a pasta se encontra dentro da faixa de consistência útil, sendo assim, é a faixa de consistência na qual a pasta de gesso pode ser utilizada para revestir uma superfície. É calculado pela diferença entre início e fim de pega (ANTUNES, JOHN, 2000).

<sup>4</sup> Estrutura externa do cristal.

aplicável para controle do processo de produção do gesso, pois, na prática, o gesso inicia a execução do revestimento antes do início de pega e termina antes do fim de pega. Pela metodologia da ABNT e pela calorimetria pseudoadiabática, a pesquisadora obteve tempos de início e fim de pega distintos.

Durante e após a hidratação, as pastas de gesso são sujeitas a diferentes mudanças de volume como consequência de fenômenos químicos e físicos relacionados à hidratação do hemi-hidrato (CASPAR *et al.*, 1996 apud GMOUH *et al.*, 2004). De acordo com a literatura, pode-se ter diferentes valores de variação dimensional. Para Gartner (2009), a reação se processa com aumento de volume de 0,15 a 0,3%, porém, segundo Peres, Benachour e Santos (2008), esta variação dimensional é entre 0,3 e 1,5%. Karni e Karni (1995) afirmam ser possível chegar a 3% e informam que a ocorrência do fenômeno se cessa após um ou dois dias.

John e Cincotto (2007) explicam que quando o gesso é misturado com a água, após uma fase inicial de contração, processa-se um aumento do volume devido ao arranjo geométrico dos cristais, que causa a formação de poros. Entretanto, durante a secagem, o gesso sofre uma pequena retração de, aproximadamente, um décimo do valor da expansão, provocada pelo deslocamento da água de mistura que se evapora (JOHN, CINCOTTO, 2007; PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008).

### **2.1.2 Aplicações do gesso**

No Brasil, há o gesso para fundição, gesso para revestimento puro e os gessos especiais, que são produzidos pelo hemi-hidrato puro com adição de materiais auxiliares que conferem ao gesso produzido propriedades necessárias a uma aplicação específica. Os materiais auxiliares utilizados nos gessos especiais são agregados finos, aditivos e corantes (PINHEIRO, 2011). Os agregados finos são areias e pó de calcário com granulometria bem definidas para argamassa de gesso projetado, contrapiso autonivelante, massa de acabamento e gesso cola (PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2011).

Fonseca (2014) descreve os tipos de revestimentos de gesso como segue: pasta de gesso (pasta de gesso puro), argamassa de gesso (gesso e areia), gesso e cal hidratada (com ou sem areia). Segundo o pesquisador português, a constituição dos estuques<sup>5</sup> engloba gesso, cal hidratada

---

<sup>5</sup>Argamassa composta por gesso, cal e areia fina. Os estuques tradicionais são também antigos. Os estuques pré-dosados sintéticos e os estuques pré-dosados de gesso são considerados como não-tradicionais.

(em pó ou em pasta), cargas minerais (areia limpa e muito fina, siliciosa ou calcária), aditivos, água e eventualmente adições.

Existem diversos tipos de aditivos que podem ser utilizados em misturas de gesso. Entre eles: agentes modificadores de pega (aceleradores e retardadores), espessantes, retentores de água, fluidificantes e impermeabilizantes, promotores de aderência, hidrofugantes, umectantes e aerantes (BALTAR, BASTOS, LUZ, 2005; HENAO, CINCOTTO, 1997; HINCAPIE, CINCOTTO, 1997; JOHN, CINCOTTO, 2007; PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008). Os aditivos geralmente alteram as propriedades da superfície dos cristais que levam a mudanças na nucleação, crescimento e cinética de hidratação, resultando em variações no tamanho e morfologia, bem como no hábito de cristais (RIDGE, 1960 apud SONG *et al.*, 2010), em função do tipo e função do aditivo.

No Brasil, para revestimento, utiliza-se correntemente, pasta de gesso puro/hemi-hidrato (água + gipsita calcinada), sendo chamado de gesso liso (DIAS, CINCOTTO, 1995; JOHN, ANTUNES, 2002; JOHN, CINCOTTO, 2007).

De acordo com John e Antunes (2002), a antiga norma de revestimentos de argamassa, NBR 7200 (1982) – Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento, previa a utilização de argamassa mista, de gesso e cal hidratada, com traços cal hidratada:gesso, em volume, entre 1:0,1 e 1:0,2 para 3 ou 4 partes de agregado, provavelmente por influência da normalização internacional. Porém, o uso de argamassas de gesso não é comum no Brasil, sendo o gesso liso (pasta de gesso) o de grande uso. Provavelmente, este é o motivo dos poucos estudos encontrados acerca desse material.

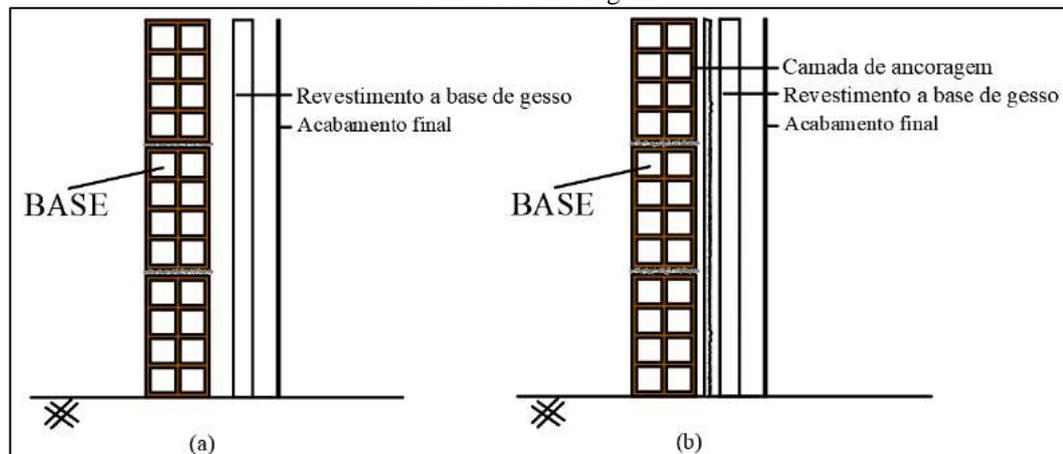
## 2.2 SISTEMA DE REVESTIMENTO EM PASTA DE GESSO

Revestimentos são conjuntos de camadas que recobrem as vedações e estruturas de um edifício com as funções de protegê-las de agentes de deterioração, complementar as funções da vedação, bem como, de constituir no acabamento final, desempenhando funções estéticas, de valorização econômica e outras associadas com a utilização da edificação (NBR 13529, 2013b; BECERE, 2007).

Há necessidade de se conhecer as funções que o revestimento deve cumprir para determinada situação, identificar as características relevantes para o desempenho das funções definidas e conhecer os métodos e critérios de avaliação dessas características prevenindo situações de manifestações patológicas (BECERE, 2007; PEREIRA, 2008).

São diversas as opções de emprego de revestimentos nos interiores em paredes e tetos (BAUER, 2005). Uma dessas opções é o revestimento em pasta de gesso, que pode ser entendido pelo esquema da Figura 4, conforme com as recomendações da NBR 13867 (1997); é análogo ao sistema de revestimento em argamassa de cimento.

Figura 4 – Esquema dos dois sistemas de revestimento em pasta de gesso: a) sem camada de ancoragem; b) com camada de ancoragem.



Fonte: adaptação FERREIRA, 2017.

As vantagens do uso de revestimento de gesso vão desde produção, custos, aplicação, execução e desempenho (ABREU *et al.*, 2003; AKKARI, SOUZA, 2005; ALMEIDA, 2014; DIAS, CINCOTTO, 1995; DNPM, 2010; HINCAPIÉ; CINCOTTO, 1997; JOHN, CINCOTTO, 2007; PIRES SOBRINHO, 2006; TEBALDI *et al.*, 2009; TROVÃO, 2012). Entretanto, sua maior limitação é a alta solubilidade em água, portanto, pode ser utilizado somente em ambiente interno (ACCORSI, 2015).

Apesar de haver algumas indicações na área de gesso, como, por exemplo, a Diretriz SINAT nº 008 (2012) em 2012 voltada para alvenarias de blocos de gesso, durante muito tempo, os sistemas de revestimento em pasta de gesso não apresentaram especificações dos locais de aplicação e cadernos de práticas de execução de serviços, de modo que atendiam a diretrizes puramente empíricas (ALMEIDA, 2014; DIAS, CINCOTTO, 1995; FERREIRA, 2017; MAEDA, SOUZA, 2003). Esse cenário ainda é atual, sendo verificados pequenos avanços.

### 2.2.1 Funções do revestimento

Segundo Ferreira (2017), o desempenho do revestimento está associado às condições de produção, exposição e à ação dos usuários. Os fatores de exposição podem ser extrínsecos, quando associados à solicitação sobre o sistema de revestimento, conforme Figura 5, e

intrínsecos, quando ligados às características dos materiais componentes (CINCOTTO *et al.*, 1995 apud LEAL, 2003).

Figura 5 – Solicitações impostas às superfícies das edificações revestidas com pasta de gesso.



Fonte: adaptação BAUER, 1987.

As principais funções do revestimento são de proteção, isolamento térmico e acústico, estanqueidade, isolamento contra o fogo, decoração e regularização da superfície (CARASEK, 2007; SELMO, 1989). Algumas dessas funções são discutidas a seguir.

#### 2.2.1.1 Estanqueidade à água

As pastas de gesso apresentam alta solubilidade em água, em torno de 2,1 g/l, o que limita sua utilização somente em ambiente interno, onde não há incidência de chuva (ACCORSI, 2015). A NBR 13867 (1997) orienta que em regiões onde possam ocasionalmente ocorrer baixa percolação de água, recomenda-se a preparação da superfície com material impermeabilizante.

A impermeabilidade pode ser caracterizada pelo coeficiente de capilaridade e permeabilidade ao vapor de água. Não se encontra normatizado na ABNT este ensaio para pastas de gesso, apesar de sua importância (FERREIRA, 2017). Como gesso dissolve na água e não é comum a utilização de gesso hidrófugo, a utilização deste aditivo seria para uso específico, por isso, provavelmente, não é incorporado na norma.

Estudos na literatura fazem adaptação de metodologia internacional ou de outros materiais. Silva, Starling e Araújo (1998) utilizaram, em um gesso hidrofugado, uma metodologia para concreto, com uso de permeâmetro. Sato, Antunes, John (2001) utilizaram a metodologia americana (ASTM E 96 – *Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials* – Método de ensaio para determinação da permeabilidade ao vapor de água dos materiais).

Segundo Dias e Cincotto (1995), o estudo de permeabilidade do revestimento é de fundamental importância na especificação de traços, uma vez que alguns fatores como relação água/gesso, natureza da base e espessura alteram a capacidade de retenção do revestimento, podendo amenizar o fenômeno de higroscopicidade do material.

Sato, Antunes e John (2001) explicam que as pastas de gesso apresentam porosidade e propriedades de fixação e transporte de água muito distintas das argamassas tradicionais. Em mesmas condições de exposição, as pastas de gesso terão umidade incorporada no interior de sua estrutura menor que as argamassas tradicionais, porém, devido à sua maior permeabilidade ao vapor de água, apresentarão uma menor resistência ao transporte de vapor de água no ambiente para o interior da parede. Em contrapartida, numa situação em que a parede esteja mais úmida que o ar ambiente, esta umidade tenderá a sair pelo revestimento, encontrando menor oposição por parte da pasta de gesso também. Os autores explicam que no caso de revestimentos de gesso pintados, este vapor de água transportado do interior da parede para o ambiente poderá se depositar na interface gesso/pintura, porque o sistema de pintura tem permeabilidade bem menor o que pode ocasionar uma concentração de umidade suficiente para o desenvolvimento de microrganismos nesta região.

#### 2.2.1.2 Conforto térmico

O isolamento térmico de um material é associado à sua alta resistência térmica à passagem do calor entre dois meios que naturalmente tenderiam rapidamente a igualarem suas temperaturas (RIBEIRO, 2011).

De acordo com Peres, Benachour, Santos (2008), os revestimentos e elementos fabricados de gesso, sozinhos ou associados com outros materiais, melhoram sensivelmente o isolamento térmico de paredes devido à sua forte inércia térmica e seu baixo coeficiente de condutividade térmica se comparado a outros materiais. Segundo Dias e Cincotto (1995), é menos condutor que o concreto de 3 a 4 vezes.

O coeficiente de condutividade térmica expressa a quantidade de calor transmitido (RIVERO, 1986 apud CARNEIRO, 1993) e pode variar com sua densidade e umidade e é da ordem de 0,25 a 0,50 W/m°C (gesso hidratado seco) (PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008; PETRUCCI, 1992 apud CANUT, 2006; RIBEIRO, 2011). De acordo com Dias e Cincotto (1995), em pasta de gesso, este valor baixo é associado aos grandes vazios no material.

Peres, Benachour e Santos (2008) ainda explicam o comportamento do gesso denominado higroatividade, onde os elementos ou revestimentos de gesso, devido à sua porosidade, quando a umidade do ar se torna excessiva, absorvem umidade impedindo que haja uma condensação sobre a superfície das paredes. Em contrapartida, quando a umidade relativa do ambiente atinge valores desconfortáveis para as pessoas, estes elementos de gesso liberam a água acumulada em seu interior, de modo que o teor higrotérmico permaneça em um valor agradável.

#### 2.2.1.3 Conforto acústico

O desempenho acústico proveniente de elementos constituídos de gesso depende de sua capacidade de isolar, absorver ou descontinuar caminhos para a transmissão do som (CANUT, 2006). Os elementos ou revestimentos de gesso podem contribuir para melhorar a sonorização dos ambientes, pois são capazes de preencher todas as possíveis fendas e orifícios por onde o som se propaga. Além disso, pela sua plasticidade, permitem a confecção de elementos com geometria específica, que contribui com a atenuação da reverberação oriunda de sons (DIAS, CINCOTTO, 1995; PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008).

Para Fonseca (2014), as pastas e argamassas de gesso contribuem para a oposição à propagação do som, promovendo a insonorização dos locais, embora o coeficiente de absorção do gesso não seja muito diferente de outros materiais de revestimentos rígidos.

Entretanto, para Silva e Silva (2004), o isolamento relaciona-se em grande medida com a massa da vedação, de forma que os materiais mais indicados para esta finalidade devem ser densos, para resistir à vibração resultante da incidência das ondas sonoras. Segundo as autoras, a contribuição das vedações leves - entre elas o gesso acartonado - para o isolamento acústico é limitada, mas também afirmam que materiais leves, porosos e de baixa densidade podem ser fontes de dissipação de energia causada pelo atrito gerado pela passagem do ar através dos poros do material.

#### 2.2.1.4 Resistência ao fogo

O revestimento deve ser a primeira barreira à propagação do fogo proveniente de um incidente exterior, assim, não deve produzir chama ou ter material tóxico em sua composição (DAWANCE, 1977 apud CARNEIRO, 1993). Neste contexto, o gesso tem como uma das mais

importantes qualidades a sua capacidade de combater a propagação do fogo e estabilizar a temperatura da região por um determinado tempo (PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008).

No processo de calcinação da gipsita (gesso di-hidratado), há reação endotérmica de desidratação, visto que 21% deste material é composto por água de cristalização. Na presença de fogo, tem-se consumo de calor e, ao mesmo tempo, estabilização da temperatura por haver liberação de água (BELMILOUDI, MEUR, 2005; CANUT, 2006; PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008; RIBEIRO, 2011; SILVA, SILVA, 2004).

De acordo com Canut (2006), alguns autores, como Taylor (2004) e Petrucci (1992), interrogam a eficiência do gesso no combate ao fogo, todavia sugerem que a utilização de material à base de gesso na construção civil realmente proporciona o equilíbrio da temperatura.

#### 2.2.1.5 Propriedades mecânicas

Segundo Karni e Karni (1995), a resistência mecânica do gesso é alterada pela relação água/gesso, idade do produto, condições ambientais de endurecimento e condições de uso do material. Acerca da relação água/gesso, a resistência decresce com o aumento deste valor. Sobre a idade, ela tende a aumentar com o tempo, alcançando picos entre 14 e 28 dias. Com relação às condições de uso e de armazenamento, a resistência também sofre alteração com as variações de umidade do ambiente.

Na literatura, muito já se discutiu sobre a influência do teor de água. Relações a/g muito baixas (inferiores a 0,6) ocasionam problemas com a trabalhabilidade, mas muito altas (acima de 0,8) provocam perda de propriedades mecânicas, visto que a porosidade do gesso vem da evaporação do excesso de água que não foi consumida durante a hidratação. A água consumida durante a reação é da ordem de 0,186 gramas de água para um grama de gesso. Logo, com teores superiores a 0,5, tem-se uma estrutura de alta porosidade, e conseqüentemente, com resistências mecânicas reduzidas (HERNÁNDEZ-OLIVARES *et al.*, 1999; JOHN, CINCOTTO, 2007; SILVA, 2010). Ferreira (2017) mostra que a pasta de gesso pode alcançar, por exemplo, resistência à compressão de 24 MPa para relação a/g de 0,48 e de 6 MPa para relação a/g de 0,8.

Finura e pureza do hemi-hidrato, velocidade de mistura, tempo de mistura, temperatura de preparo da pasta, além da origem geológica, impurezas, tempo de calcinação, finura e forma

dos grãos também afetam as propriedades mecânicas (BARDELLA, 2011; KARNI, KARNI, 1995; QUINALIA, 2005; SINGH, MIDDENDORF, 2007).

### **2.2.2 Normatização**

As normatizações técnicas são documentos de garantia de qualidade (NAKAMURA, 2013). Para estudo de qualquer subsistema de uma construção ou edificação, há necessidade de consulta das normatizações disponíveis para que, com obediência aos seus critérios e procedimentos de execução, o desempenho do subsistema seja garantido, proporcionando segurança aos usuários e às construtoras.

Nos últimos anos, percebe-se o surgimento de novos produtos de gesso, com propriedades mais avançadas e diferentes processos de aplicação. Contudo, muitas vezes, as modificações não são acompanhadas pelas normas brasileiras.

Em 2014, o Sindicato da Indústria do Gesso (Sindusgesso - PE) e a Associação Nacional dos Fabricantes e Comerciantes de Gesso (Assogesso) iniciaram um processo para consolidar e revisar as normas técnicas dos produtos de gesso, como pré-moldados (blocos e placas), o pó usado em revestimentos, gesso cola, massas para acabamento, gesso para fundição, entre outros. As revisões trarão benefícios os consumidores finais, que contarão com parâmetros confiáveis para avaliar os produtos que estão sendo oferecidos no mercado (SINDUSGESSO, 2014). Verifica-se que, até o ano de 2020, algumas normas foram revisadas desde a afirmação anterior, como para contrapiso autonivelante de gesso, gesso modificado e gesso-cola.

Os gessos para construção civil brasileiros apresentam exigências físico-químicas e mecânicas especificadas pela NBR 13207 (2017a) e métodos de ensaio determinados pelas seguintes normas técnicas vigentes:

- NBR 12127 (2019a): Gesso para construção civil – Determinação das propriedades físicas do pó;
- NBR 12128 (2019b): Gesso para construção civil – Determinação das propriedades físicas da pasta de gesso;
- NBR 12129 (2019c): Gesso para construção civil – Determinação das propriedades mecânicas;

- NBR 12130 (2017b): Gesso para construção - Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrido sulfúrico.

As Tabelas 1, 2, 3 e 4 apresentam as exigências físico-químicas e mecânicas necessárias ao gesso de construção civil, em pó, pasta e endurecido.

Tabela 1 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (tempo de pega)

Ensaio	Tempo de pega (min)	
	Início	Fim
Gesso para fundição	≤ 10	≤ 20
Gesso para revestimento (sem aditivo)	≥ 10	≥ 35
Gesso para revestimento (com aditivo)	≥ 4	≥ 50

Fonte: NBR 13207, 2017a.

Tabela 2 – Exigências químicas do gesso sem aditivos para a construção civil.

Determinações químicas	Limites (%)
Água livre	máx. 1,3
Água de cristalização	4,2 a 6,2
Óxido de cálcio (CaO)	mín. 38,0
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	mín. 53,0

Fonte: NBR 13207, 2017a.

Tabela 3 – Requisitos físicos do gesso para construção civil (granulometria via seca).

Classificação do gesso	Granulometria mínima
Gesso para fundição	(peneira abertura 0,29 mm) ≥ 90% passante
Gesso para revestimento	(peneira abertura 0,21 mm) ≥ 90% passante

Fonte: NBR 13207, 2017a.

Tabela 4 – Requisitos físicos e mecânicos do gesso para construção civil.

Ensaio	Unidade	Limite
Massa unitária	g/cm <sup>3</sup>	≥ 600,0
Dureza	N/mm <sup>2</sup>	≥ 20,0
Aderência	MPa	≥ 0,2

Fonte: NBR 13207, 2017a.

O gesso para revestimento pode ser utilizado como pasta de gesso (gesso em pó/hemi-hidrato + água), sendo chamado de gesso liso, ou argamassa de gesso (FERREIRA, 2017), sendo o primeiro comum no Brasil. As normas voltadas para gesso com funções de revestimento são:

- NBR 13867 (1997): Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso - Materiais, preparo, aplicação e acabamento;
- NBR 16618 (2017e): Revestimento interno de gesso de paredes e tetos – Procedimento;
- NBR 16689 (2019d): Gesso modificado – Método de ensaio.

O gesso modificado (gesso, aditivos e cargas) apresenta normatização que especifica o método de ensaio (NBR 16689, 2019d) para sua análise, mas não apresenta documento que fixa os requisitos, ou seja, valores limites de propriedades e características. O gesso em pasta para revestimento deve seguir a NBR 13867 (1997) e NBR 16618 (2017e).

A NBR 13867 (1997) fixa as condições exigíveis quanto aos materiais, preparo, aplicação e acabamento de revestimentos internos de paredes e tetos com pasta de gesso, entretanto, está há 23 anos sem revisão. A NBR 16618 (2017e) – Revestimento interno de gesso de paredes e tetos – Procedimento estabelece os requisitos para procedimento de instalação de revestimentos internos para paredes e tetos.

Ferreira (2017) relatou alguns pontos que deveriam ser melhorados na NBR 13867 (1997) antes do lançamento da NBR 16618 (2017e). Contudo, mesmo com esta norma, algumas lacunas acerca do processo de execução do revestimento à base de gesso continuam e são descritas como:

- Tempos de espera para aplicação da pasta de gesso e realização do acabamento: a norma não expõe quanto tempo de espera se deve ter para aplicação da pasta de gesso nas diferentes bases para que estejam secas e não venham afetar a qualidade do revestimento e do acabamento;
- Tratamento da base: a pasta de gesso é empregada em diversos tipos de bases, que apresentam maior ou menor aderência. As normas demonstram preocupação com a qualidade da base, no entanto, poderia fazer indicação quando necessários os diferentes tratamentos para cada tipo de base devido às distintas características de absorção e porosidade;
- Espessuras: sugere-se que as normas fixem valores máximos e mínimos de espessuras. De fato, fazer determinações limites com o processo executivo de alvenarias que se tem hoje é difícil, uma vez que, as espessuras são definidas, muitas vezes, em função das correções de prumo das alvenarias;
- Tipos de gesso para revestimento: as normas mencionam somente revestimento de pasta ou de gesso modificado, não mencionando os demais tipos (gessos para revestimentos com finalidades especiais, compósitos à base de gesso, gesso como ligante de argamassas, entre outros);

- Método de ensaio para avaliação do produto acabado: o gesso para revestimento não apresenta normatização para avaliação em estado acabado, como acontece com argamassas inorgânicas, que podem ser avaliadas pela NBR 13528-2 (2019f): Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 2: aderência ao substrato e pela NBR 15258 (2005) – Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Esta última norma indica que deve ser utilizada somente em ambiente de laboratório e o substrato-padrão deve ser preparado conforme a NBR 14082<sup>6</sup> (2004): Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas. A NBR 16618 (2017e) sugere a utilização de NBR 15258 (2005) para verificação da resistência potencial de aderência de gessos, norma voltada para argamassas colantes. A NBR 13207 (2017a) indica que o gesso para revestimento deve ter uma resistência de aderência superior a 0,2 MPa, mas não há metodologia de ensaio.

Os critérios das normas brasileiras de gesso seguem o *European Committee for Standardization* (CEN). Esses critérios são semelhantes ao padrão americano, ou seja, da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Realizou-se uma revisão das normas americanas (ASTM) para verificação dos parâmetros e requisitos para o gesso para revestimento.

As normas relacionadas à ASTM C28/C28M – 10 – *Standard Specification for Gypsum Plasters* (Norma de especificação de gesso para revestimento) são:

- C11 *Terminology Relating to Gypsum and Related Building Materials and Systems* (Terminologia relativa à gesso e a sistemas e materiais construtivos relacionados);
- C22/C22M *Specification for Gypsum* (Especificações para gesso de construção);
- C35 *Specification for Inorganic Aggregates for Use in Gypsum Plaster* (Especificações para agregados inorgânicos para uso em revestimento de gesso);
- C471M *Test Methods for Chemical Analysis of Gypsum and Gypsum Products (Metric)* (Métodos de ensaio para análise química do gesso de construção e produtos do gesso de construção (Métrico));

---

<sup>6</sup> Esta norma foi cancelada e substituída por: NBR14081-2 (2015): Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios.

- *C472 Test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters and Gypsum Concrete* (Métodos de ensaio para testes físicos de gesso de construção, revestimento de gesso e concreto de gesso<sup>7</sup>);
- *C778 Specification for Sand* (Especificações para areia);
- *C842 Specification for Application of Interior Gypsum Plaster* (Especificações para aplicação de revestimento de gesso interno);
- *E11 Specification for Woven Wire Test Sieve Cloth and Test Sieves* (Especificação de malha de peneiras de ensaio e peneiras de ensaio).

A ASTM C28/C28M-10 (2015) especifica os requisitos para os diferentes tipos de gesso para revestimento: gesso misturado com minerais, gesso com fibra de madeira e de acabamento. A norma aborda os materiais usados e as suas normas relacionadas, composição (pureza do gesso e volume de agregado), propriedades mecânicas, embalagem, inspeção, rejeição e cálculo do teor de agregado de um produto de revestimento de gesso. Sobre a composição e as propriedades físicas, a norma também apresenta a Tabela 5.

Além disso, apresenta os limites quanto à granulometria e pureza/composição química. Quanto à granulometria, a norma especifica que 100% do material deve passar na peneira de malha 1,4 mm (n° 14) e não menos que 60% passar na peneira de malha 150 µm (n° 100). Quanto à composição química, o gesso deve conter, pelo menos, 66% em massa de sulfato de cálcio hemi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ); valor inferior ao requisitado pela ABNT.

A ASTM C472-99 (2014), que apresenta os métodos de ensaio para os revestimentos em gesso, contém as seções: precaução para os ensaios físicos, materiais e reagentes, água livre, granulometria, consistência normal, tempo de pega, resistência à compressão e densidade. Todos esses métodos de ensaios são descritos em normas brasileiras. Pode-se verificar que não há padronização para resistência de aderência.

A ASTM C842-05 (2015) tem como escopo a espessura do revestimento de gesso e recomendações gerais de aplicação, como materiais, espessuras, entrega de materiais, proteção de materiais, condições ambientes, preparo de base, traços e aplicação, além de apêndices com

---

<sup>7</sup> Gipsita calcinada misturado com lascas de madeira ou agregado, ou ambos (ASTM C11, 2016). É utilizado na construção de lajes moldadas in loco (contrapiso).

informações gerais e técnicas. Assim sendo, verifica-se que as normas americanas são mais abrangentes quanto aos diversos tipos de revestimentos possíveis em gesso.

Tabela 5 – Composição e propriedades físicas de revestimentos de gesso

Produto	Tipo de agregado	Composição, agregado por 100 lb de revestimento de gesso no máximo		Tempo de pega <sup>A</sup>	Resistência à compressão <sup>B</sup> não inferior a	
		ft <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		psi	MPa
Revestimento de gesso sobre camada de suporte ( <i>lath base</i> ) metálica, de madeira ou placas de gesso	Vermiculita	2	0,057	1 ½ a 8	450	3,1
	Perlita	2	0,057	1 ½ a 8	600	4,1
	Areia	2,5	0,071	1 ½ a 8	700	4,8
Gesso misturado sobre a alvenaria	Vermiculita	3	0,085	1 ½ a 8	325	2,2
	Areia	3	0,085	1 ½ a 8	400	2,8
	Perlita	3	0,085	1 ½ a 8	400	2,8
Gesso puro	Nenhum	-	-	2 a 16 <sup>C</sup>	750 <sup>D</sup>	5,2
Gesso com fibra de madeira	Nenhum	-	-	1 ½ a 8	1200	8,3
Gesso de aferição	Nenhum	-	-	<sup>E</sup>	1200	8,3

<sup>A</sup> Tempo de pega não deve ser menor que o tempo nem maior que o tempo mostrado

<sup>B</sup> Resistência à compressão são testadas no tempo de pega especificados nos métodos de testes C472

<sup>C</sup> Quando misturados com 3 partes pela massa de areia de Ottawa

<sup>D</sup> Quando misturados com 2 partes pela massa de areia de Ottawa

<sup>E</sup> Quando não for retardado, o tempo de pega não deve ser menor que 20 nem maior que 40 minutos e, quando retardado, não deve ser menor que 40 minutos

Fonte: ASTM C28/C28M – 10.

Sobre as normas europeias, duas normas podem ser consultadas:

- EN 13279-1 (2008): *Gypsum binders and gypsum plasters. Definitions and requirements* (Ligantes e revestimentos de gesso: definições e requisitos);
- EN 13279-2 (2004): *Gypsum binders and gypsum plasters: Test methods* (Ligantes e revestimentos de gesso: métodos de ensaio).

A EN 13279-1 (2008) classifica os revestimentos em gesso de acordo com o Quadro 1. Esta norma apresenta os requisitos da Tabela 6. Há também, nesta norma, os requisitos para os gessos para fins especiais (Classe C). Ou seja, o que se verifica é que o documento apresenta os requisitos semelhantes à normatização brasileira, contudo, mais abrangente quanto aos diversos tipos de gesso para revestimento.

Quadro 1 – Tipos de revestimentos correntes com base em gesso

<b>Designação</b>	<b>Notação</b>
<u>Gesso (<i>Gypsum Binder</i>)</u>	<u>A</u>
<u>Revestimento com base em gesso (<i>Gypsum plaster</i>)</u>	<u>B</u>
Revestimento de gesso ( <i>Gypsum building plaster</i> )	B1
Revestimento com base em gesso ( <i>Gypsum based building plaster</i> )	B2
Revestimento de gesso e cal ( <i>Gypsum-lime building plaster</i> )	B3
Revestimento leve de gesso ( <i>Lightweight gypsum building plaster</i> )	B4
Revestimento aligeirado com base em gesso ( <i>lightweight gypsum based building plaster</i> )	B5
Revestimento aligeirado de gesso e cal ( <i>Lightweight gypsum-lime building plaster</i> )	B6
Revestimento com base em gesso com dureza superficial melhorada ( <i>Gypsum plaster for plasterwork with enhanced surfaced hardness</i> )	B7
<u>Revestimento com base em gesso para aplicações especiais (<i>Gypsum plaster for special purposes</i>)</u>	<u>C</u>
Revestimento fibroso com base em gesso ( <i>Gypsum plaster for fibrous plasterwork</i> )	C1
Gesso para assentamento de tijolo ( <i>Gypsum plaster for bricklaying</i> )	C2
Gesso para isolamento acústico ( <i>Acoustic plaster</i> )	C3
Gesso para isolamento térmico ( <i>Thermal insulation plaster</i> )	C4
Gesso para proteção ao fogo ( <i>Fire protection plaster</i> )	C5
Gesso para aplicação em camada fina ( <i>Thin coat plaster</i> )	C6

<sup>1</sup>Revestimento com incorporação de agregados leves inorgânicos, como a perlita expandida, vermiculita ou agregados leves orgânicos.  
Fonte: EN 13279-1, 2008.

A EN 13279-2 (2004) apresenta os seguintes métodos de ensaio, semelhantes aos da ABNT: condições de ensaio e amostragem (preparo de amostras), ensaios de granulometria, determinação do teor de trióxido de enxofre e cálculo do equivalente de sulfato de cálcio, determinação da relação água/gesso, determinação do tempo de pega, determinação das propriedades mecânicas (dureza, resistência à flexão e à compressão) e ensaio de resistência de aderência.

O que se verifica ao realizar uma revisão das normas americanas e europeias voltadas para revestimento à base de gesso é que, embora apresentem semelhanças com as brasileiras, são mais abrangentes em relação ao processo de execução, mas, principalmente, em relação a diversidade de tipos possíveis de revestimentos à base de gesso, não se limitando a pastas de gesso puro. Isso corrobora com a análise realizada por Canut (2006). Isso, segundo a autora, reforça a necessidade da realização de mais estudos focados no uso do gesso para indústria da construção civil, a partir da reformulação e revisão das normas vigentes no Brasil. Assim, o país poderá ter bons critérios de controle de qualidade, facilitando até o comércio internacional.

Tabela 6 – Requisitos para o revestimento com base em gesso

Revestimento de gesso	Teor de ligante de gesso	Tempo inicial de pega min		Resistência à flexão N/mm <sup>2</sup>	Resistência à compressão N/mm <sup>2</sup>	Dureza superficial N/mm <sup>2</sup>	Resistência de aderência N/mm <sup>2</sup>
		Gesso manual	Gesso projetado				
B1	≥50	> 20 <sup>b</sup>	>50	≥1,0	≥ 2,0	-	A fratura ocorre na base ou na pasta de gesso; quando a fratura ocorre na interface gesso / fundo, o valor deve ser ≥0,1.
B2	<50						
B3	<sup>a</sup>						
B4	≥ 50						
B5	<50						
B6	<sup>a</sup>						
B7	≥ 50			≥ 2,0	≥ 6,0	≥2,5	

<sup>a</sup>De acordo com 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6.

<sup>b</sup>Para algumas aplicações manuais um valor menor que 20 minutos é permitido. Nesse caso, o tempo de pega inicial deve ser declarado pelo produtor.

Fonte: BN 13279-1, 2008.

O Quadro 2 apresenta algumas características da norma brasileira (NBR) e europeia (EN).

Quadro 2 – Principais características de diferentes métodos de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração (continua)

	NBR 13528 (2019e, 2019f)	EN 13279-2 (2004)
<b>Número de corpo de prova</b>	12	-
<b>Condições do substrato</b>	Em obra (revestimentos antigos ou recentes); Em laboratório: painéis de alvenaria (bloco e tijolos), placas de concreto, entre outros.	-
<b>Forma do CP</b>	Circular	Circular
<b>Seção do CP</b>	Diâmetro de (50 ± 1) mm	Diâmetro de 50 mm
<b>Espessura da pastilha</b>	≥ 10 mm	≥ 10 mm
<b>Condições de cura</b>	-	T=23±2 °C Umidade relativa = 50±5%
<b>Apresentação do resultado</b>	Resultados individuais (MPa)	Valor médio (N/mm <sup>2</sup> )
<b>Tipos de substrato</b>	Substratos inorgânicos não metálicos	-

Quadro 2 – Principais características de diferentes métodos de ensaio para determinação da resistência de aderência à tração (conclusão)

	<b>NBR 13528 (2019e, 2019f)</b>	<b>EN 13279-2 (2004)</b>
<b>Tipo de corte</b>	Utilizar serra-copo; Corte a seco ou com água; Corte estendido de 1 a 5 mm dentro do substrato.	Utilizar serra copo que produza amostra com diâmetro de $(50 \pm 0,5)$ mm;  Corte estendido a aproximadamente 5 mm no fundo.
<b>Distância entre CP</b>	$\geq 50$ mm entre si, dos cantos e das quinas 30 cm acima do piso e abaixo do teto	-
<b>Tipo de cola</b>	à base de resina epóxi, poliéster ou similar	Adesivos à base de resinas, tais como resina epóxi ou resina de metilmetacrilato
<b>Equipamento de tração</b>	Dinamômetro de tração que permita a aplicação contínua de carga, de fácil manuseio, baixo peso, dotado de dispositivo para leitura de carga, que apresente erro máximo de 2%.	Dispositivo de tração que permite que uma força de tração seja aplicada às placas de aço sem sujeitar a uma tensão de flexão. O dispositivo indicador deve permitir que a força de teste seja lida com uma precisão de medição de $\pm 5\%$ da carga máxima registrada
<b>Velocidade de ensaio</b>	Não especificada (taxa constante).	5 a 200 N/s a depender da resistência de aderência esperada (consultar tabela)
<b>Tipos de revestimentos</b>	Argamassas com 28 dias para argamassas mistas ou de cimento e areia e 56 dias para argamassa de cal e areia	Ligantes e revestimentos de gesso Idade de ensaio: 7 dias

Fonte: Autora, 2021.

A NBR 13207 (2017a) requisita uma aderência mínima de 0,2 MPa. A EN 13279-1 (2008) recomenda que seja maior ou igual a 0,1 MPa ou ruptura coesiva pela base e as Regras para a concessão de documentos de aplicação a revestimentos pré-dosados de gesso destinados a paramentos interiores de paredes e tetos do LNEC (2008) estabelece exigência de que seja maior ou igual a 0,5 MPa ou ruptura coesiva.

### 2.2.3 Condições específicas de produção do revestimento à base de gesso

Aspectos de preparo da base, dosagem, mistura e execução dos revestimentos são discutidos a seguir.

### 2.2.3.1 Preparo da base

O tipo de preparo da base deve ser escolhido de acordo com as características superficiais do substrato e a execução deve ser realizada empregando materiais e técnicas apropriadas para melhorar as condições de aderência do revestimento à base, de modo a criar uma superfície com rugosidade apropriada e regularizando a capacidade de absorção inicial da base (CANDIA, FRANCO, 2000). O desempenho e qualidade de um revestimento estão condicionados a um bom preparo dos substratos (DE MILITO, 2001).

De acordo com Dias e Cincotto (1995), as bases para revestimento à base de gesso podem ser tijolo e bloco cerâmicos, bloco de concreto, bloco celular autoclavado, bloco sílico-calcários, superfície monolíticas de concreto ou argamassa.

Ferreira (2017) resume as tarefas de preparo da base quanto aos aspectos:

- Físico: verificação da rugosidade, aplicação de camada de ancoragem e limpeza de possível poeira;
- Químico: retirada de pontas de metal, proteção de metais que ficarão em contato com o revestimento, limpeza de contaminantes (desmoldantes ou eflorescências, por exemplo);
- Geométrico: correção de irregularidades geométricas da base;
- Respeito aos tempos de espera e colocação de outros sistemas da edificação: estrutural, hidro sanitário, elétrico, incêndio, entre outros;
- Colocação da tela.

Para Dias e Cincotto (1995) e Oliveira (2014), os revestimentos em pasta de gesso podem ser aplicados diretamente sobre a base, o que evita o chapisco e a camada de regularização. Todavia, ainda há dúvidas por parte dos pesquisadores sobre necessidade ou não do chapisco. No entanto, conforme afirma Ferreira (2017), esses tratamentos são dependentes de fatores como, por exemplo, o tipo de substrato a ser usado.

A NBR 13867 (1997) recomenda que a superfície-base de revestimento seja regular e suficientemente umedecida antes da aplicação do revestimento. Entretanto, discute-se na literatura a necessidade e a eficácia dessa ação. Ferreira, Sousa e Carneiro (2019b) realizaram estudo com pastas de gesso em substratos cerâmicos, avaliando a influência do pré-

umedecimento das bases na aderência e verificou que esta ação reduz a resistência de aderência à tração, provavelmente por reduzir a capacidade de sucção e o material que penetra na base.

Acerca do preparo da base, a NBR 16618 (2017e) – Revestimentos interno em gesso de paredes e tetos – Procedimento apresenta somente que a superfície pode ser mestrada ou não e se for, como deve ser a preparação dessas mestras.

Os desvios de prumo, nível e planeza afetam o desempenho do revestimento e não são apresentados na NBR 16618 (ABNT, 2017e) e na NBR 13867 (ABNT, 1997). A NBR 13749 (2013c) – Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação expõe os limites máximos para esses desvios (Tabela 7). A necessidade de limitação de correção de desvios visa evitar manifestações patológicas pela aplicação de revestimentos em espessuras muito grandes, que podem causar, por exemplo, destacamento e problemas de questões estéticas.

Tabela 7 – Desvios máximos de prumo, nível e planeza para os substratos que vão receber revestimento de gesso

Desvio de prumo	Desvio de nível	Planeza
$\leq H/900$ , sendo H a altura da parede em m	$\leq L/900$ , onde L é o tamanho do maior vão em m	- Ondulações: $\leq 3$ mm em régua de 2 m. - Irregularidades abruptas: $\leq 1$ mm em régua de 20 cm.

Fonte: adaptação NBR 13749, 2013c.

Um outro aspecto não tratado em normatizações acerca de revestimentos de pasta de gesso é quanto ao cronograma referente às idades mínimas das bases para a execução do revestimento. É razoável respeitar o tempo necessário para a cura das bases (chapisco e regularização) como forma de se evitar solubilização parcial do gesso e favorecer a reação química expansiva do sulfato, proveniente do gesso, com o aluminato, presente no cimento para formação etringita. De acordo com a NBR 7200 (1998) – Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Procedimento, deve-se seguir o apresentado:

- 28 dias de idade para as estruturas de concreto e alvenarias armadas estruturais;
- 14 dias para alvenarias não armadas estruturais e alvenarias sem função estrutural de tijolos, blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto celular, admitindo-se que blocos de concreto tenham sido curados durante pelo menos 28 dias antes da sua utilização;

- 3 dias de idade do chapisco para a aplicação do emboço ou camada única; para climas quentes e secos, com temperatura acima de 30°C, este prazo pode ser reduzido para 2 dias.

Sugere-se que os mesmos prazos sejam atendidos para pastas de gesso, uma vez que estes se apresentam como forma de garantir que a base esteja em idade adequada com relação ao seu endurecimento, hidratação e secagem para receber as camadas de revestimento. Quanto ao acabamento decorativo, não há menção de tempo nas normas voltadas para gesso. De acordo com a NBR 13867 (1997), deve ser realizado quando revestimento estiver seco.

#### 2.2.3.2 Dosagem e mistura

O preparo da pasta de gesso é função da reologia adequada para a aplicação sobre a base e do tempo útil requerido para a execução do revestimento (JOHN, CINCOTTO, 2007; BREITSAMETER, 2012; SALES, SANTOS, RIBEIRO, 2014).

Na obra, utiliza-se, em geral, valores de relação a/g na faixa de 0,6 a 0,8 kg/l para obter boas condições de trabalhabilidade (LEWRY, WILLIAMSON, 1994a; KARNI, KARNI, 1995; BARDELLA, 2011).

Nolhier (1986 apud ANTUNES e JOHN 2000) afirma que a relação a/g é o parâmetro de maior influência na cinética da reação de hidratação e, assim, na pega do gesso. À medida que se aumenta a quantidade de água de amassamento, maior é o intervalo de tempo necessário para saturar a solução, o que causa a ampliação do período de indução, retardamento do início da precipitação dos cristais de di-hidrato e, aumento do tempo de pega.

A primeira interação com a pasta ocorre durante a mistura. Os parâmetros como energia, forma, tempo e sequência de mistura influenciarão as propriedades do material obtido. Antunes e John (2000) indicam os seguintes procedimentos de preparação da pasta, conforme se observa em obra, como segue no Quadro 3.

Se o gesso for modificado (gesso com aditivo, com ou sem carga) para aplicação manual, deve-se misturá-lo completamente com a água. Na aplicação por projeção, a mistura é realizada na máquina.

Quadro 3 – Procedimento de obra de preparo das pastas de gesso observado em obra – etapa I

Etapa	Procedimento
Polvilhamento	O pó é colocado na água de forma a preencher toda masseira por igual. A quantidade de pó utilizada é a necessária para que toda, ou quase toda água da superfície seja absorvida pelo pó.
Espera I	Segue-se um período de repouso que corresponde ao período de dissolução do hemi-hidrato.
Mistura	Em seguida, parte da pasta é misturada ficando o restante em repouso na masseira.
Espera II	Mais uma vez um intervalo é observado até que a pasta possa ser utilizada. Este intervalo equivale ao período de indução.

Fonte: adaptação ANTUNES, JOHN, 2000.

De acordo com Monteiro, Melo e Uchôa (2010), um dos problemas do uso do gesso deve-se ao seu reduzido tempo de pega, que somado à produção e aplicação artesanais, onde até mesmo o fator água/gesso é definido empiricamente pelo próprio gesseiro, faz com que o uso da pasta no processo de revestimento produza volumes acentuados de resíduos, que podem chegar a 50% do gesso utilizado para fazer a pasta. Embora o gesso hidratado (di-hidrato) seja reutilizável, ainda não é comum tal ação.

### 2.2.3.3 Execução do revestimento

O maior volume de resíduo de gesso, gerado na construção civil, deve-se à etapa de revestimento (MONTEIRO, MELO, UCHÔA, 2010), portanto, é importante que se tenha grande controle de execução.

A execução do revestimento pode ocorrer de maneira manual ou mecânica (projetada). Segundo Cunha (2015), a projeção da pasta de gesso permite uma melhor compactação, de modo que os grãos se acomodam melhor nos espaços, diminuindo os defeitos na interface entre a argamassa e a superfície. De acordo com o autor, a constância de energia aplicado pelo lançamento do equipamento e a menor quantidade de ar presa na mistura conferem uma maior resistência, aderência e uniformidade ao revestimento. Entretanto, trata-se de uma técnica relativamente recente e com pouco histórico de uso no Brasil.

Pela projeção, há um controle perfeito das espessuras, pela execução das mestras contínuas, e a adoção de uma relação água/pó predefinida e uniforme, cujo controle é realizado exclusivamente na máquina, que, com o advento das argamassas pré-fabricadas, o processo de revestimento com pasta de gesso ficou muito simplificado, cabendo às equipes de obras apenas o controle operacional (NEVES, 2018).

Para execução manual, após o preparo da pasta, respeitando os tempos de espera da pasta, aplica-se no substrato. Conforme Quinalia (2005), caso se opte pelo acabamento sarrafeado<sup>8</sup>, consegue-se a execução de uma superfície melhor acabada por ter maior controle da espessura pelo auxílio de mestras e taliscas como referência. Para dar o acabamento, utiliza-se de régua de alumínio que removem o excesso da pasta que se sobressai entre as mestras. A utilização de guias-mestras é orientada pela NBR 13867 (1997) para auxiliar o nivelamento e o prumo da camada de revestimento em pasta de gesso. Sucintamente, para execução do revestimento, prepara-se a base, aplica-se a pasta por meio de deslizamento de baixo para cima e faz-se o acabamento com régua e desempenadeira.

Para aplicação manual, a NBR 16618 (2017e) recomenda que, para grandes espessuras, deve-se fazer camadas sucessivas de aproximadamente 2,0 cm. Para aplicação por projeção, a recomendação é projetar o gesso com uma espessura mínima de 0,5 cm. Para espessura superior a 2,5 cm, recomenda-se projetar em camadas de, aproximadamente, 2,0 cm. Não há menção quanto às espessuras máximas.

A espessura média do revestimento deveria ser especificada quando da elaboração dos projetos (principalmente o estrutural) e ou da concepção dos detalhes construtivos (memorial descritivo) (ROCHA *et al.*, 2004). Contudo, como afirmam os autores, muitas vezes, a espessura acaba sendo definida pelo contexto da obra, ou seja, é resultado de serviços precedentes, uma vez que depende do prumo e planeza da base.

Dias e Cincotto (1995) realizaram um estudo em 15 obras para verificação do consumo de gesso. Os pesquisadores observaram uma variação de espessura de aplicação entre 3,5 e 25 mm. Muitas vezes, a espessura é função das condições de prumo da alvenaria, sendo o revestimento uma forma de correção. Segundo Hincapie *et al.* (1996) apud De Milito (2001), a espessura do revestimento de gesso em geral depende do substrato, mas tecnicamente se recomenda a espessura de  $5 \pm 2$  mm. Para Quinalia (2005), o revestimento não deve ultrapassar 5 mm, sendo sarrafeado ou desempenado. Segundo Yazigi (2006), o revestimento pode ser aplicado por meio de 1 a 4 camadas, somadas entre 1 a 10 mm. Para Maeda e Souza (2003), normalmente se executa com espessuras de 0,5 e 1,0 cm para revestimentos desempenado e sarrafeado, respectivamente. Contudo, é importante salientar que, muitas vezes, a definição da espessura é

---

<sup>8</sup> Para o acabamento sarrafeado, utiliza-se de mestras e as taliscas para guiar na execução do revestimento. No revestimento desempenado, ou seja, sem taliscas, a regularidade geométrica dependerá do substrato.

realizada com base das condições de prumo da alvenaria que irá receber o revestimento, sendo uma possibilidade de correção.

Paes (2004) explica que a definição dos valores de espessura é importante, pois este influencia o transporte de água da argamassa fresca para o substrato poroso. Quando a argamassa fresca é colocada em contato com o substrato poroso, essa dispõe de uma grande quantidade de água relativamente livre a ser transportada para o interior do substrato. Este transporte de água será mais ou menos intenso, de acordo com o potencial de sucção do substrato (diretamente relacionado com a sua natureza) e com a espessura do revestimento. Diante disso, sugere-se que, em revestimentos à base de gesso, ocorra mecanismo análogo, sendo, então, a espessura fator de grande importância no desempenho do produto final.

Quanto ao prumo e a planeza do revestimento interno em gesso aplicado, segundo a NBR 16618 (2017e), não pode apresentar distorção maior que 3 mm a cada 2 m, verificada por meio de régua e fio de prumo.

### 2.3 ADERÊNCIA

A aderência é uma das propriedades mais importantes, que governam o desempenho dos revestimentos, entretanto é de grande complexidade (ANTUNES, 2005; CARASEK, 1996; CÂNDIA, FRANCO, 2000; CARASEK, CASCUDO, SCARTEZINI, 2001; COSTA, CARASEK, 2009; COSTA, 2007; GONÇALVES, 2004; IOPPI, PRUDÊNCIO, IRIYAMA, 1995; KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI, COLLATTO, 2007; LEAL, 2003; PAES, 2004; POSSAN, GAVA, PETRAUSKI, 2002; ROSSIGNOLO, AGNESINI, 1999; SARAIVA, BAUER, GONÇALVES, 2010; SCARTEZINI, 2002).

A aderência pode ser entendida como a capacidade da argamassa de resistir a tensões normais, ou tangenciais à superfície de interface com a base. Dela depende a capacidade da alvenaria de resistir a cargas e a perfeita união de materiais de acabamento à base. Esta propriedade dá-se tanto no estado fresco, pela adesão inicial, como no endurecido, por diferentes causas (VALDEHITTA ROSELLO, 1976 apud IOPPI, 1995). No caso de revestimentos, o termo aderência é utilizado para descrever a resistência e a extensão de contato entre o revestimento e uma base porosa (CARASEK, 1996).

O termo aderência envolve diversos conceitos e ideias que estão ligados às interações que ocorrem na interface do sistema de revestimento, podendo ser analisado sob o ponto de vista

molecular, micro e macroscópico, sendo um conceito ambíguo, uma vez que considera tanto a estabilidade das ligações na interface como a força necessária para rompê-las (COSTA, 2007). Não é uma propriedade do revestimento, mas a interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento que se deseja avaliar (base, preparo da base e revestimento) (NBR 13528-1, 2019e). Logo, é indispensável analisar o problema de forma mais ampla, considerando aspectos da mão de obra, condições ambientes, a qualidade dos materiais do revestimento e da base, bem como a interação destes.

Segundo Costa (2014), para que haja o controle da aderência é indispensável que haja (a) compatibilidade geométrica entre a topografia da superfície e a dimensão das partículas da matriz; (b) combinação adequada entre a reologia da matriz e a energia de aplicação de forma a garantir o molhamento e espalhamento da matriz sobre o substrato; e (c) quantidade de materiais reativos suficientes para que o volume de produtos hidratados formados garanta contato molecular partícula-substrato e partícula-partícula na interface.

Mittal (1995) explica que a aderência pode se manifestar de três formas distintas, sendo:

- I. Aderência básica ou fundamental: é a soma de todas as interações ou forças intermoleculares atuantes ou presentes entre a interface de contato dos materiais. Portanto, representa a energia necessária para romper as ligações químicas na interface do sistema (COSTA, 2007).
- II. Aderência termodinâmica ou reversível: definida como o trabalho reversível realizado na criação de uma área unitária da interface entre duas substâncias. Segundo Costa (2007), representa as alterações na energia livre quando uma interface é formada ou separada, podendo ser expressa pela Equação 3:

$$W_A = \gamma_{S1} + \gamma_{S2} - \gamma_{S1S2} \quad [3]$$

onde:

$W_A$  é o trabalho de adesão. É a energia que deve ser aplicada para separar ou unir uma superfície a outra.

$\gamma_{S1}$  e  $\gamma_{S2}$  representam a energia livre na superfície do material 1 e 2, respectivamente.  $\gamma_{S1S2}$  representam a energia livre na interface dos materiais.

- III. Aderência prática ou experimental: é a força necessária para separar o revestimento do substrato. A relação entre a aderência prática e a aderência fundamental é expressa pela seguinte função:

$$\text{Aderência prática} = f(\text{aderência fundamental, outros fatores externos})$$

Estes outros fatores incluem, por exemplo, a técnica utilizada e variações da mão de obra.

Os fatores que governam a aderência do revestimento das argamassas: materiais (constituintes, tipo e proporção, granulometria, reologia, presença de aditivos), substrato (rugosidade, capilaridade/sucção, teor de umidade, tipo), processo executivo (fatores relacionados à mistura e aplicação (manual ou mecanizada), tratamento superficial, cura, espessura) e condições climáticas (temperatura, umidade relativa do ar e vento), podendo ainda existir um efeito sinérgico entre esses fatores (ANTUNES, 2005; BAKER, 1979; CANDIA, FRANCO, 1995; CARASEK, 1996; CINCOTTO, 1995 apud DE MILITO, 2001; COSTA, 2007; GASPAR *et al.*, 2007 apud RUDUIT, 2009; IOPPI, PRUDÊNCIO, IRIYAMA, 1995; IOPPI, 1995; PEREIRA *et al.*, 2011; LAMANA, DELFIN, BULLEMORE, 1970; LAWRENCE, PAGE, 1994; SARAIVA, BAUER, GONÇALVES, 2010; SELMO, 1989; VIEIRA *et al.*, 2005 apud MOURA, 2007).

Diferente do que ocorre no meio técnico nacional de revestimentos de argamassas de cimento, a literatura dos sistemas de revestimento de gesso, especialmente voltada para aderência, é limitada à pequenas investigações experimentais.

Em 1995, Dias e Cincotto (1995) já afirmavam que o revestimento à base de gesso de construção caracterizava-se pela falta de especificações técnicas dos locais de sua aplicação e pela inexistência de cadernos de práticas de execução de serviços. Essa atividade era considerada apenas para efeito arquitetônico e não levando em conta seus requisitos de durabilidade e desempenho. Entretanto, percebe-se que este cenário ainda é atual, sendo notados pequenos avanços. Estes autores avaliaram a resistência de aderência de revestimentos em pasta de gesso e argamassa de gesso pelo ensaio de resistência de aderência à tração com variações de bases (bloco cerâmico, de concreto e concreto aparente liso), relações água/gesso e tratamento da base.

Em 1997, Hincapie *et al.* (1997) afirmavam a existência apenas da pesquisa citada anteriormente e que, a nível internacional, a situação não era diferente, o que era comprovado pelo relatório final de atividades da comissão de estudos da RILEM, no período de 1973/1980,

onde Murat (1982) ressalta que a aderência das pastas de gesso a outros materiais seria um tópico para estudos futuros e que não foi contemplado naquele período de trabalho.

Hincapie *et al.* (1997) realizaram um estudo sobre a influência do tipo de base e relação a/g e a resistência de aderência do revestimento em seis tipos de bases. No mesmo ano, Delgado e Pires Sobrinho (1997) avaliam a influência da adição de areia nas pastas de gesso para produção de argamassa na resistência de aderência.

Sousa, Almeida e Almeida (2015) avaliaram a mesma propriedade do revestimento em dois tipos de bases (bloco cerâmico e de concreto) e a influência do chapisco e do umedecimento da base antes da aplicação do revestimento.

Neves (2018) avaliou experimentalmente a capacidade de aderência de revestimentos executados com pasta de gesso e concluiu que o bloco de concreto estrutural apresentou os melhores resultados de resistência de aderência, seguido do bloco de concreto não estrutural. Quanto aos blocos cerâmicos, o não estrutural foi quem apresentou melhor resultado em comparação com o bloco cerâmico estrutural.

Costa e Silva, Delgado e Azevedo (2021) avaliaram quatro tipos de blocos (blocos cerâmicos e de concreto, com função de vedação e estruturais), duas profundidades de ensaio da pasta (superficial e com cortes até o substrato) e três alturas de aplicação (até 0,6 m; entre 0,6 m e 1,2 m; e acima de 1,2 m). Os pesquisadores verificaram que há forte influência da base e da profundidade de corte na aderência, o que não foi encontrado na altura de aplicação do revestimento (ergonomia), em decorrência do natural processo de aplicação da pasta de gesso efetuado com pressão da massa sobre a parede.

Demais pesquisas com pastas de gesso não tratam da avaliação da capacidade aderente do gesso, apresentando outros focos. Até os dias de hoje, não há estudos que norteiem o fenômeno de aderência da interface substrato-sistema de revestimento em pasta e argamassas de gesso, incluindo influência das características da base, espessuras, umidade, idade do revestimento, os tipos de ruptura que caracterizam esse tipo de sistema, bem como a definição do mecanismo de aderência.

É importante salientar que as noções do comportamento dos materiais na interação do revestimento com o substrato são fundamentais não somente para execução de novos revestimentos, mas também em casos de restauração de revestimentos históricos (CARASEK, 1996; ROSSI-DORIA, 1990).

### 2.3.1 Mecanismo de aderência revestimento/substrato

Em se tratando da relação de aderência nos sistemas de revestimento, é possível diferenciar adesão inicial, quando o revestimento ainda está fresco, e a aderência, associada ao revestimento endurecido. Ambos são discutidos no presente tópico.

Para os sistemas de revestimento em pasta de gesso, não são encontrados estudos acerca do mecanismo de aderência. Pode-se fazer uma analogia às argamassas de cimento e propor que os mesmos fatores e aspectos físicos-mecânicos que interferem neste tipo de sistema de revestimento influenciam àqueles com base em gesso. Diante disso, bibliografias sobre a aderência de argamassas cimentícias são abordadas de modo auxiliar na investigação do mecanismo de aderência de sistemas de revestimento em pasta de gesso.

#### 2.3.1.1 Adesão

Adesão inicial da argamassa é a propriedade que a argamassa de revestimento fresca possui de permanecer ligada adequadamente ao substrato após o seu lançamento, seja manual ou mecânico, auxiliada pela sua plasticidade e dificultada pela influência da força da gravidade (IOPPI, 1995). Para Carasek (2007), essa adesão inicial pode ser denominada de “pegajosidade”.

Uma característica típica dos fenômenos de adesão é a sua abordagem multidisciplinar (PINTO, 2007). O autor explica que o entendimento do fenômeno de adesão entre dois corpos (substratos ou aderentes) solicita conhecimentos sobre a natureza química dos seus constituintes, a reologia do meio, a geometria de contato e as propriedades físico-químicas das superfícies.

A adesão surge quando os átomos ou as moléculas de uma superfície de um corpo estão suficientemente próximas dos átomos ou moléculas da superfície de outro corpo para, assim, permitir a ligação com as respectivas forças de ligação, sendo elas ligações primárias ou fortes (iônica, covalente e metálica) ou ligações secundárias ou fracas (Van Der Waals ou de pontes de hidrogênio) (PINTO, 2007).

Pinto (2007) explica que para se obter uma ligação satisfatória entre o adesivo e a superfície do substrato, é necessário que o adesivo se espalhe facilmente sobre toda a superfície, ou seja, que a superfície possua uma boa molhagem. A molhagem é a capacidade de um líquido se espalhar numa superfície sólida e está intimamente relacionada com a energia livre de superfície e a

tensão de superfície. A energia livre de superfície, ou simplesmente energia de superfície, pode ser vista como a força de atração de uma superfície. Segundo Levy Neto e Pardini (2006) apud Carvalho (2016), as moléculas na superfície, em contraste com as do interior, são influenciadas por forças moleculares desbalanceadas, de modo que possuem energia adicional.

Pinto (2007) esclarece que de acordo com o princípio da menor energia, a natureza tende sempre a um estado de mínima energia. Assim, quanto maior for a energia de superfície do sólido relativamente à do líquido, mais facilmente este se espalha pela superfície do sólido. Ao contrário, um líquido não se espalha numa superfície sólida com uma energia de superfície inferior à do líquido. A energia de superfície e a tensão de superfície são representadas pela letra grega  $\gamma$ .

O processo de molhamento envolve o equilíbrio entre as fases, sólida, líquida e vapor, quando estas são colocados em contato e a cinética entre as tensões interfaciais para criação de uma nova área interfacial. Essas tensões podem ser estimadas pela Equação de Young-Dupré, apresentada na Equação 4 (COSTA, 2014).

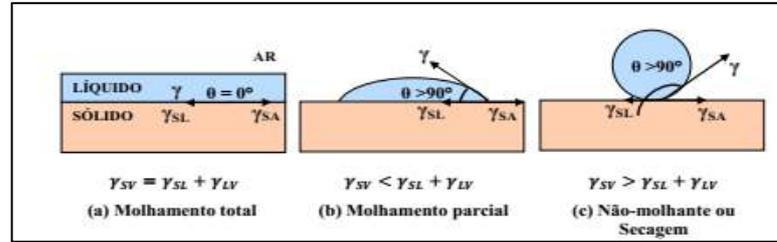
$$\gamma_{SA} = \gamma_{SL} + \gamma_{LA} \cos \theta \quad [4]$$

em que  $\gamma_{SA}$  é a tensão interfacial sólido/ar;  $\gamma_{SL}$  é a tensão interfacial sólido/líquido e  $\gamma_{LA}$  é a tensão interfacial líquido/ar.

Por meio da Figura 6, esquematizada por Costa (2014), Pinto (2007) explica o ângulo de contato e as componentes da tensão superficial: uma gota de líquido sobre uma superfície sólida pode ser descrita pelo ângulo de contato,  $\theta$ , entre a superfície sólida e a tangente à superfície do líquido no ponto de contato sólido-líquido-vapor; o cosseno do ângulo de contato é uma medida da energia de coesão do líquido,  $\gamma_L$ , e energia de adesão entre o líquido e o sólido. O ângulo formado por um líquido sobre uma superfície sólida está diretamente relacionado com a molhabilidade da superfície por esse líquido.

Conforme Burkarter (2006), quando  $\theta = 0^\circ$ , a superfície é hidrofílica; quando  $180^\circ > \theta > 0^\circ$ , a superfície tem molhabilidade parcial e quando  $\theta = 180^\circ$ , a superfície é superhidrofóbica. Pinto (2007) complementa que quando  $\theta > 0^\circ$  o líquido não se espalha, mas quando  $\theta = 0^\circ$  o líquido molha o sólido completamente e espalha-se espontânea e livremente sobre a superfície a uma velocidade que depende de fatores como a viscosidade do líquido e da rugosidade da superfície.

Figura 6 – Condições de molhamento: a) superfície superhidrofílica – molhamento total do substrato pelo líquido; b) superfície hidrofílica – molhamento parcial; c) superfície hidrofóbica – o líquido não molha o substrato



Quando o ângulo de contato modificado pelas características superficiais do sólido, como rugosidade, presença de poros capilares, heterogeneidade química, temperatura e tempo de contato sólido-fluido, os valores obtidos pela Equação de Young-Dupré (Equação 4) diferem significativamente do obtido, afastando-se do comportamento ideal mostrado pela Figura 6.

O modelo de Wenzel é mais realístico por considerar as rugosidades inerentes a todas as superfícies sólidas por meio de um fator adimensional chamado fator de rugosidade  $r$ , que é a razão entre a área superficial efetiva e a área projetada (YAN, GAO, BARTHLOTT, 2011). Este fator é importante, pois se relaciona também com a química superficial: a rugosidade aumenta o efeito químico de superfície para produzir a superhidrofobicidade (SHIRTCLIFFE *et al.*, 2010).

O modelo de Cassie-Baxter, o qual também leva em consideração a rugosidade da superfície, porém, diferentemente de caso de Wenzel, o líquido toca a superfície apenas em algumas áreas fracionadas, de modo que, a gotícula fica suspensa pelas rugosidades superficiais, o que implica que a área de contato líquido-sólido é menor que a do modelo proposto por Wenzel, aumentando o ângulo de contato e a hidrofobicidade (CONINCK, DUNLOP, HUILLET, 2011; FIGUEIREDO, 2015; LAFUMA, QUERÉ, 2003; MARTINES *et al.*, 2005; SHENG, JIANG, TSAO, 2007; ZANCAN, 2017).

Segundo Pinto (2007), não há uma teoria unificadora baseada nos princípios físico-químicos dos materiais que consiga explicar a adesão de uma forma completa e geral, abordando a conexão entre a adesão, as propriedades físicas dos adesivos e dos aderentes, com a resistência efetiva de uma ligação adesiva.

As teorias mais notórias que explicam os fenômenos de adesão<sup>9</sup> são a teoria eletrostática, a teoria da difusão, a teoria da adsorção e a teoria mecânica, conforme é apresentado no Quadro 4<sup>10</sup>.

Bélair Júnior (2005) divide os fenômenos de adesão em específica e mecânica, sendo que o primeiro compreende as forças intermoleculares, a termodinâmica e as ligações químicas. Os aspectos termodinâmicos da adesão englobam as energias das fases envolvidas. A tensão interfacial, a absorvidade e a adsorção do substrato tal como a histerese do ângulo do contato entre as superfícies das fases (sólido, líquido e/ou gás) são os três aspectos que cercam a noção da termodinâmica. O último mecanismo envolve ligações químicas que implicam energias 10 a 100 vezes maiores do que as ligações Van der Waals (COUVRAT, 1926 apud BELAIR, 2005).

As teorias eletrostática e de intertravamento mecânico tem escala de ação macroscópica, a teoria das ligações químicas tem escala de ação atômica e as teorias da difusão, termodinâmica e zona de transição têm escala molecular (EBNESAJJAD, 2008).

Esses mecanismos de aderência podem governar os sistemas de revestimentos, sejam os compostos por argamassa de cimento ou pasta à base de gesso, uma vez que são teorias que explicam os fenômenos de contato entre dois materiais. Entretanto, conforme Costa (2014) salienta, essas teorias ora são complementares ora contraditórias.

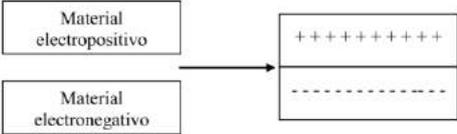
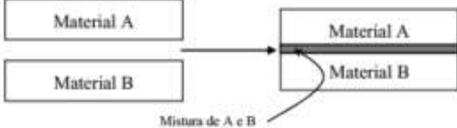
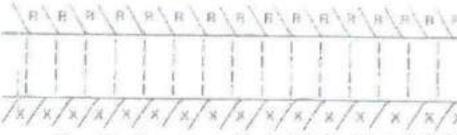
Após a mistura ter sido concluída e a argamassa ser lançada sobre um tijolo, a taxa de perda de umidade aumenta à medida que a água é "sugada" pelos poros da superfície do tijolo (DAVISON, 1961). Poros ativos são aqueles que possuem força capilar suficiente para exercer ação de sucção de água (SCARTEZINI, 2002).

---

<sup>9</sup> No âmbito físico-químico, "adesão" é uma maneira clássica de se referir às ligações entre materiais, sem distinção à expressão "aderência" (GONÇALVES, 2004).

<sup>10</sup> Esses mecanismos de aderência não surgem isoladamente, somente se apresentam em diferentes graus de participação dependendo do momento em que se analisa a propriedade geral e das propriedades particulares de cada material (GONÇALVES, 2004).

Quadro 4 – Teorias que explicam os fenômenos de adesão entre os materiais

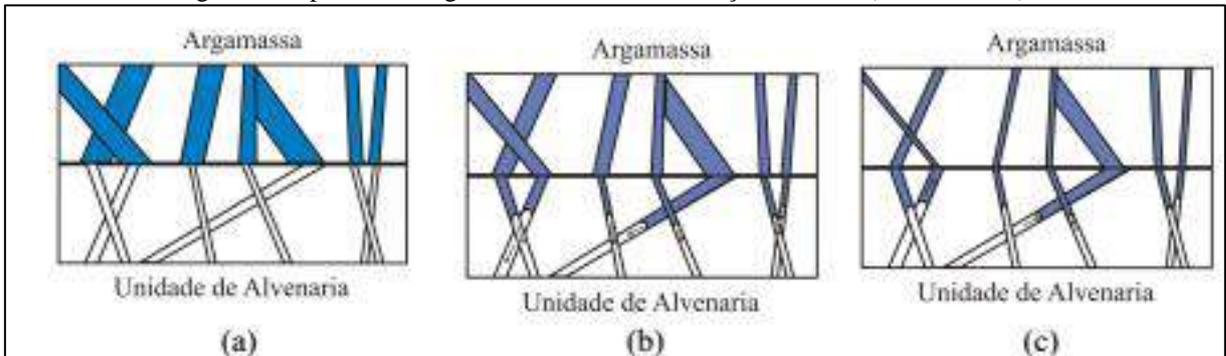
Teoria	Comportamento	Esquema explicativo
Teoria eletrostática ou eletrônica	Transferência de elétrons entre duas superfícies sólidas caracterizadas como eletropositivas (bases) ou eletronegativas (ácidas), de modo que a ligação ocorre pela transferência de elétrons.	
Teoria da difusão	Adesão quando dois substratos são solúveis e existe mobilidade molecular suficiente para ocorrer difusão.	
Teoria da molhagem/adsorção	Forças interatômicas e intermoleculares desenvolvidas nas superfícies do adesivo e do substrato quando se estabelece um íntimo contato molecular na interface. Com este contato, os defeitos na interface serão minimizados ou eliminados. Este tipo de contato ocorre quando o adesivo se espalha espontaneamente sobre a superfície do substrato, isto é, possui uma boa molhagem. Pode ser adsorção química (ligações primárias) ou física (ligações de Van der Waals).	
Teoria mecânica	Adesão por meio da fixação (ancoragem) do adesivo nas irregularidades da superfície do substrato.	

Fonte: adaptado de PINTO, 2007; GONÇALVES, 2004; COSTA, 2014.

Casali (2008) esquematiza o modelo de movimento de água quando a argamassa é colocada em contato com o substrato de porosidade aberta, pela teoria dos poros ativos, conforme Figura 7. De acordo com o modelo, que não considera a textura superficial, no momento da aplicação da argamassa no estado fresco (Figura 7a), esta apresenta um esqueleto formado pelos grãos sólidos do ligante e do agregado. Os espaços intergranulares (poros) são preenchidos de água. O movimento de água é efetuado da argamassa para o substrato poroso (Figura 7b) enquanto os raios médios dos capilares da argamassa são superiores aos dos capilares do substrato poroso. Após isso, sob a ação do confinamento mecânico progressivo provocada pela depressão dos capilares e da hidratação do ligante (retração), o raio médio da argamassa diminui até tornar-se igual aos dos capilares do substrato. Quando o raio médio dos capilares da argamassa torna-se

inferior ao dos capilares do substrato poroso, o sentido do movimento de água é oposto, fluxo reverso da umidade (Figura 7c) (CASALI, 2008; DUPIN, DETRICHE, MASO, 1988; SILVA, 2004).

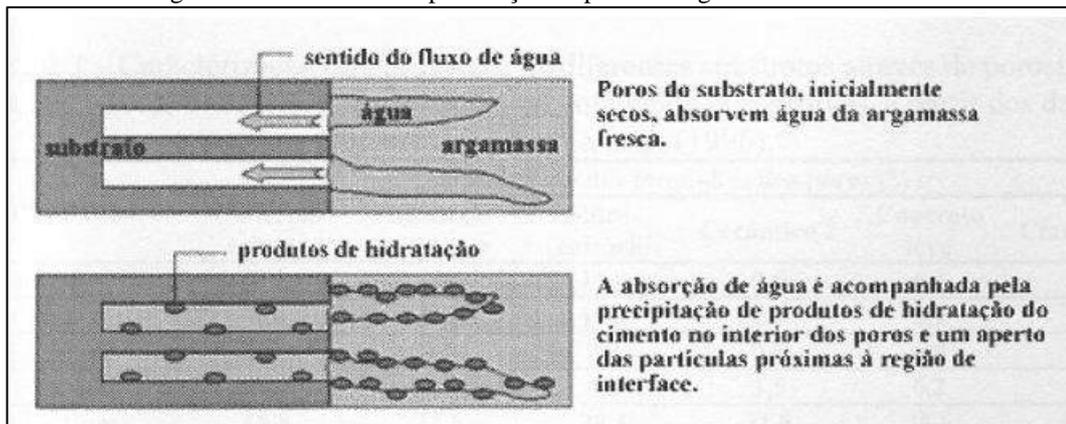
Figura 7 – Modelo de movimento da água do revestimento para o substrato: a) instante de contato entre argamassa e o substrato; b) primeiro momento na interação argamassa-substrato; c) num momento posterior a água dos capilares mais grossos do substrato começa a retornar (fluxo reverso).



Fonte: CASALI, 2008.

No interior dos poros do substrato, ocorrem os fenômenos de precipitação dos produtos de hidratação dos constituintes dos ligantes e após algum tempo, esses precipitados intracapilares exercem a ação de ancoragem (COSTA, 2007; CARASEK, 2007), conforme esquema da Figura 8.

Figura 8 – Mecanismo de penetração da pasta da argamassa no substrato.



Fonte: CARASEK, 1998 apud LEAL, 2003.

Costa (2014) explica que a penetração de partículas e a precipitação de cristais no interior dos poros e/ou rugosidade do substrato irá depender da geometria dos poros e das partículas. Se a seção das irregularidades superficiais for menor ou igual à das partículas irá ocorrer o entupimento. Adicionalmente, é de se esperar que as partículas se sedimentem na superfície do substrato levando a um processo de filtração da matriz.

A adsorção física atua no mecanismo de absorção capilar, de modo que as moléculas adsorvidas de água se mantêm fixas à superfície do substrato (adsorvente) por intermédio, principalmente,

das forças de van der Waals (PAES, 2004). Cessado o fluxo por absorção capilar, que se processa rapidamente, inicia-se o fluxo por difusão (OUZIT, 1990 apud PAES, 2004).

Além do movimento da água em direção ao substrato por absorção capilar, ocorre também a evaporação, movimento de água em direção ao meio ambiente, que tende a esvaziar os capilares da argamassa progressivamente (PAES, GONÇALVES, 2005). À medida que a hidratação do ligante se processa, a velocidade da evaporação reduz devido a diminuição do diâmetro dos capilares (CARASEK, 1996; DETRICHE, MASO, 1986). Entretanto, essa saída não influenciará de forma direta nos mecanismos de aderência (MOURA, 2007).

Os modelos aqui apresentados são importantes apenas para o entendimento da interação nos primeiros instantes, porém estão distantes da realidade, pois existem fatores intervenientes (CASALI, 2008).

De acordo com os estudos de Paes (2004), esta movimentação de água pode ser majorada ou minimizada, segundo mudanças das variáveis adotadas: tipo de argamassa, natureza do substrato e espessura do revestimento. A redução da tensão superficial da pasta ligante favorece a molhagem do substrato, repercutindo na redução do ângulo de contato entre as superfícies e, conseqüentemente, melhora a adesão inicial.

A redução do ângulo de contato pode ser obtida por mudanças nas propriedades reológicas das argamassas com o uso de aditivos retentores de água e incorporadores de ar e o aumento do teor de cimento (CARASEK, 1996) ou pela adição de cal que provoca o aumento da plasticidade (GONÇALVES, 2004; VALDEHITA ROSELLO, 1976 apud CARASEK, 1996).

Para Stolz (2011), o aumento da área de contato potencial de um substrato nem sempre irá resultar em um aumento na resistência de aderência de revestimentos de argamassa, já que a reologia apresentada pela argamassa assentada sobre ele pode exercer influência nesta área de contato real. Assim, a autora supõe que a reologia da argamassa deverá exercer maior influência sobre a resistência de aderência, já que a reologia apresentada pela argamassa assentada pode exercer influência nesta área de contato real.

As pastas à base de gesso e as argamassas de cimento são materiais distintos, mas, na ausência de estudos voltados para estes primeiros materiais e, como forma de levantamento de hipóteses e investigação, pode-se fazer uma analogia entre estes materiais, como forma, inclusive, de balizar um planejamento de experimento futuro visando a avaliação das hipóteses a serem levantadas.

### 2.3.1.2 Aderência da pasta endurecida

É consenso geral na literatura que a aderência do revestimento de argamassa é derivada da conjugação de três propriedades: a resistência de aderência à tração, a resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência (CARASEK, 1996; CAMPOS *et al.*, 2014; COSTA, 2007; GONÇALVES, 2004; PAES, 2004; SANTOS, 2008; SELMO, 1989; SILVA, 2004). Como evidência de sua durabilidade, deve-se garantir três compatibilidades no sistema: geométrica, mecânica e química (SILVA, 2013). Veiga (1998) acrescenta ainda a necessidade de se ter compatibilidade física, ou seja, o revestimento deve aderir bem ao suporte e permitir que as trocas de umidade entre a alvenaria e o ar exterior se efetuem normalmente (permeabilidade ao vapor de água suficiente).

Paes (2004) explica que a resistência de aderência à tração é devido aos esforços normais gerados na utilização de um sistema de revestimento. Resistência ao cisalhamento é a tensão cisalhante ou cortante que ocorre no plano de ruptura no instante da ruptura; sua quantificação representa a tensão máxima de cisalhamento no material, imediatamente antes de seu colapso, sob uma carga de cisalhamento (CAMPOS, 2014). Paes (2004) explica que esta última ocorre pelos esforços verticais e tangenciais ao revestimento, gerados com a atuação da gravidade no revestimento aderido ao substrato. Além da gravidade, tem-se o efeito de cargas depositadas na parede.

A resistência de aderência é função do limite de resistência ao cisalhamento da interface argamassa/substrato ( $\tau_u$ ) e sempre assume valores inferiores ao limite de resistência à tração da argamassa de revestimento ( $\sigma_{tu}$ ) (JOSIEL, 1981 apud COSTA, 2007).

A extensão de aderência é a razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida (CARASEK, 1996; COSTA, 2014; SELMO, 1989). De acordo com Costa (2014), este conceito reflete na verdade a quantidade de defeitos na interface, de modo que quanto menor a quantidade de defeitos, maior a aderência. Assim, pode-se afirmar que a extensão de aderência é efetiva na resistência e durabilidade da aderência e depende de fatores como trabalhabilidade da argamassa fresca, porosidade, rugosidade e preparo do substrato (PAES, 2004; RUDUIT, 2009). Ou seja, é definida pela soma das características da base e da argamassa e da forma de execução. Carasek (1996) empregou um microscópio estereoscópio trinocular (lupa) para avaliar a extensão de aderência e encontrou valores de 50 a 100% em função do tipo de argamassa e da umidade do substrato.

Nos estudos de Palmer e Parsons (1934), os autores afirmam que não há evidência de que alterações de volume na argamassa subsequente ao endurecimento destruíram ou enfraqueceram a ligação, seja nas juntas verticais ou horizontais, quando a extensão da ligação é boa. Quando a extensão de ligação é pobre, há alguma indicação de que as alterações de volume subsequentes ao endurecimento foram destrutivas para a ligação.

De acordo com Chase (1983), em argamassas de cimento, a força de aderência é provavelmente uma combinação de vários tipos diferentes de forças (ligações primárias, como ligações iônicas e covalentes, e ligações secundárias, como as ligações de van der Waals), além da interação mecânica e intertravamento.

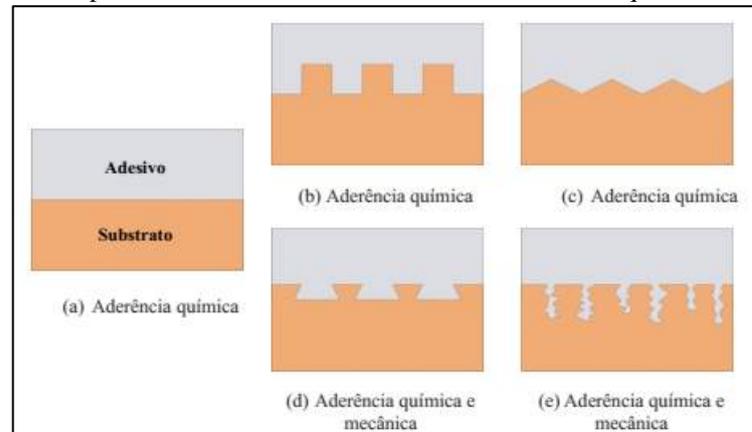
As ligações primárias, contudo, devido a sua dificuldade de comprovação, na interface substrato-matriz cimentícia é pouco descrita na literatura. São constatadas pelas alterações morfológicas dos produtos hidratados na interface. Um dos mais importantes campos que avalia a aderência química é a voltada para aplicação de polímeros como tratamento de substratos (COSTA, 2014). Para a autora, as forças intermoleculares são as principais responsáveis pela aderência da maioria dos materiais multifásicos, embora possuam menor energia de ligação em relação às primárias.

De acordo com diversas pesquisas na área de sistemas revestimento de argamassa de cimento (CARASEK, 1996; DUPIN, DETRICHE, MASO, 1988; KAMPF, 1963), o mecanismo de ligação entre argamassas inorgânicas e substratos porosos é essencialmente mecânico, com a resistência de aderência derivada do entrelaçamento dos produtos hidratados nos poros e na superfície do substrato, não sendo significativa a contribuição da parcela de adesão superficial devida às forças de atração entre a superfície da argamassa inorgânica e o substrato.

Costa (2014) explica que numa superfície topográfica idealizada, perfeitamente lisa, tal como mostra a Figura 9a, a aderência é essencialmente química, não havendo parcela mecânica, pois não há qualquer tipo de penetração da matriz no substrato. Ainda explica que isso também ocorre em algumas superfícies topográficas irregulares, se os esforços aplicados forem perfeitamente normais ao plano, tais como os exemplos mostrados nas Figuras 9b e 9c. Nestes dois casos citados, o aumento da aderência pode ser atribuído simplesmente ao acréscimo de área de contato interfacial, pois se não houvessem ligações químicas haveria apenas o encaixe entre as fases. O travamento mecânico só irá ocorrer se o substrato apresentar irregularidades que permitam a ancoragem do adesivo, tal como exibem as Figuras 9d e 9e. A autora salienta,

entretanto, que nenhuma superfície é perfeitamente plana e que esta constatação irá depender da escala de observação.

Figura 9 – Representação esquemática dos mecanismos de aderência adesivo-substrato: aderência química ocorre em todas as situações e a área de contato da superfície lisa (a) é menor que a das demais; (d) e (e) somente podem ser obtidos com uma das fases no estado líquido



Fonte: COSTA, 2014.

Para corroborar essas conclusões, cita-se o trabalho de Kampf (1963), que mostrou que a contribuição da ligação mecânica para a resistência de aderência é muito maior do que a contribuição da ligação química. Para isso, o autor realizou uma série de experimentos onde foram unidas duas placas de vidro através de uma camada de argamassa de cimento para simular a preparação de corpos de prova de alvenaria para o ensaio de tração direta. Como a superfície do vidro é muito lisa, o efeito de travamento mecânico é desprezível, podendo-se avaliar a parcela de aderência polar covalente. Independentemente do tipo de argamassa de cimento testada, a resistência obtida em tais experimentos representa menos do que 10% das resistências de aderência à tração normalmente encontradas com corpos de prova com substratos cerâmicos, onde prevalece a aderência mecânica.

Entretanto, Costa (2014) cita os autores Schultz e Nardin (2008), Baldan (2012), Packham (2003) para contradizer que o modelo do intertravamento mecânico pode não ser considerado universal porque não considera os fatores que ocorrem em nível molecular na interface.

Para Paes (2004), os revestimentos têm desempenho mecânico intimamente ligado ao transporte de água presente da argamassa fresca pela sucção do substrato poroso. A autora cita os trabalhos de Carasek (1996) e Gonçalves (2004) para exemplificar: a resistência de aderência à tração têm seus valores mais elevados atribuídos à maior penetração de pasta ligante no interior do substrato.

As pastas de gesso endurecidas apresentam diâmetros de poros situados predominantemente na faixa de 1  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$  (água/gesso de 0,5 a 0,7) (SATO, ANTUNES, JOHN, 2001). De acordo

com os autores, a estrutura porosa das pastas de cimento, argamassas e concretos caracteriza-se por possuir uma ampla faixa de tamanhos de poros, com uma quantidade significativa de poros menores que 1  $\mu\text{m}$ . Isso significa que deve existir uma diferença de poros ativos das pastas de gesso para as pastas de cimento.

Os processos de fixação e transporte de umidade do revestimento de gesso com a base, dado ao fenômeno de adsorção que consiste na formação de camadas de moléculas de água que aderem à superfície dos poros, não estão associados à aderência com a base, mas podem auxiliar a compreensão da estrutura de poros desses revestimentos. Segundo Sato, Antunes e John (2001), os resultados mostram que as pastas de gesso apresentam porosidade e propriedades de fixação e transporte diferenciado das argamassas tradicionais, ou seja, numa mesma condição de exposição, as pastas de gesso terão umidade incorporada no interior de sua estrutura menor que as argamassas tradicionais, porém, devido à sua maior permeabilidade ao vapor de água, apresentarão menor resistência ao transporte de vapor de água do ambiente para o interior da parede.

Acerca da retração do gesso, Peres, Benachour e Santos (2008) e John e Cincotto (2007) explicam que, durante a secagem, o gesso sofre uma pequena retração, de aproximadamente um décimo do valor da expansão, provocada pelo deslocamento da água de mistura que se evapora. Para Karni e Karni (1995), esses valores podem representar um aumento de volume de até 3%.

Para Peres, Benachour e Santos (2008) e John e Cincotto (2007), essa expansão é uma das características que torna o gesso um excelente material para moldagem, já que a expansão o força a preencher todas as fendas e detalhes das matrizes ou moldes.

### **2.3.2 Fatores intervenientes**

Fatores associados ao revestimento, à base e ao processo de execução e de endurecimento influenciam à aderência e serão discutidos nos próximos tópicos.

#### **2.3.2.1 Substrato**

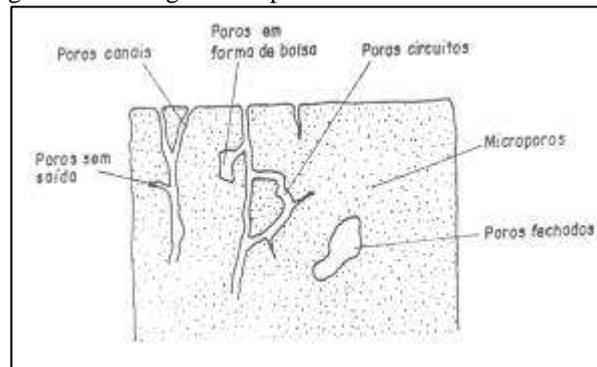
Características como matéria-prima, estrutura e distribuição dos tamanhos dos poros, a capacidade de absorção de água e textura superficial são fatores intervenientes do substrato de

influência na aderência. Estas características influenciam na velocidade e quantidade da água transportada do revestimento fresco para o substrato e, por conseguinte, na alteração da microestrutura do revestimento na região de contato (CANDIA, 1998; CARASEK, 1996; KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI, COLLATTO, 2007; LAMANA, DELFIN, BULLEMORE, 1970; PAES, 2004; PAGNUSSAT, 2013; PRETTO, 2007; SCARTEZINI, CARASEK, 2003; WHITELEY *et al.*, 1977 apud CARASEK, 1996).

### 2.3.2.1.1 Estrutura de poros

Materiais porosos são descritos por meio da porosidade, distribuição do tamanho do poro e superfície ou área específica. A porosidade é a relação do volume de vazios e volume total do material (CARASEK, 1996). Poro é um espaço tubular fino, situado entre duas partes sólidas de um material, e não devem ser confundidos com espaços intermoleculares, ou seja, aqueles que não podem ser ocupados por nenhuma matéria que represente um outro corpo independente (GRATWICK, 1971 apud HATTGE, 2004). Existem seis categorias de poros nos materiais de construção: poros circuitos, poros sem saída, poros fechados<sup>11</sup>, microporos, poros canais e os poros na forma de bolsa, conforme esquema da Figura 10 (MAMILLIAM, 1966 apud POLISSENI, 1986).

Figura 10 – Categorias de poros dos materiais de construção



Fonte: MAMILLIAM, 1966 apud POLISSENI, 1986.

Para melhor compreender a passagem de água da argamassa para o substrato é preciso que ambos sejam analisados como sistemas de poros de porosidade aberta<sup>12</sup> (DUPIN, DETRICHE, MASO, 1988; ZANELATO, 2015).

<sup>11</sup> Poros que não são acessíveis pelo exterior (CARASEK, 1996; PÁSCOA, 2012).

<sup>12</sup> A porosidade aberta é a que tem contato com a superfície externa do material (SCHULLER, BIANCHI, AGUIAR, 2008).

O estudo da porosidade pode ocorrer, qualitativamente, através de ensaios de absorção capilar ou permeabilidade, ou quantitativamente, por meio de porosimetria por intrusão de nitrogênio (BET) ou de mercúrio (PIM) e mais recentemente, por meio de análise de imagens (FERREIRA JÚNIOR, CAMARINI, 2003 apud PRETTO, 2007).

O PIM é considerado eficiente para a caracterização de substratos cerâmicos (KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI, COLLATTO, 2007). Entretanto, segundo Diamond (1999), este método não indica a real distribuição dos tamanhos dos poros em estruturas de cimento hidratado. Para Diamond e Leeman (1995 apud CASALI, 2008), este método pode superestimar o volume de poros menores em detrimento ao dos maiores.

Esta técnica se baseia na relação entre o diâmetro de poro, assumido como sendo esféricos e que os poros sejam independentes uns dos outros, compondo um conjunto de poros paralelos conectados individualmente à superfície do material. Portanto, é desconsiderada a conectividade do espaço poroso (CASALI, 2008). Para a autora, não existe um método consagrado para avaliar a interconexão dos poros, mas é de conhecimento científico que este aspecto é importante.

A porosidade dos substratos (diâmetro, estrutura, volume, distribuição e interconectividade dos poros e abertura na superfície externa) aliadas às suas características superficiais influenciaram na quantidade e na velocidade do transporte de água e, por conseguinte, na alteração das propriedades do revestimento em contato com o substrato (BERTOLINI, 2010; PAES, 2004). As características de absorção superficial definem a taxa e o volume de água para se deslocar da argamassa para a unidade (CHRISTY, SHANTHI, TENSING, 2012) e a sucção de água exercida pelo substrato irá depender da estrutura de poros (CARASEK, 1996).

O sistema de poros do substrato é modelado por meio de um conjunto de tubos cilíndricos paralelos, independentes, abertos, perpendiculares à superfície da argamassa, de raios constantes ao longo do tempo e inicialmente vazios (CARASEK, 1996). O transporte de água pode ser explicado pela teoria dos poros ativos, a qual relaciona a capacidade de absorção dos substratos, a capilaridade e a capacidade de retenção das argamassas (ZANELATO, 2015).

Tijolos com alta taxa de sucção não necessariamente são os que irão retirar mais água das argamassas (DAVISON, 1961). Segundo Gallegos (1995) apud Moura (2007), os poros ativos são aqueles em que o raio varia de 0,01  $\mu\text{m}$  a 10  $\mu\text{m}$ . Os poros de tamanho inferior, embora exerçam grande força de sucção, não absorvem quantidade de água significativa para

influenciar na aderência do revestimento (MOURA, 2007). Para Carasek (1996), não são de interesse direto o micro (diâmetro  $< 0,1 \mu\text{m}$ ), macro poro ( $> 20 \mu\text{m}$ ) e as cavidades fechadas; para autora, são de interesse os poros capilares, com diâmetro entre  $0,1 \mu\text{m}$  e  $20 \mu\text{m}$ , conforme classificação da CEB (1993 apud CARASEK, 1996) e Mehta e Monteiro (1994), pois são os que têm capacidade de succionar a água das argamassas de cimento. Para Veiga e Silva (2019), a absorção de água líquida ocorre principalmente por capilaridade através dos poros conectados da faixa capilar, principalmente entre  $0,01$  e  $10 \mu\text{m}$ .

Contudo, considerando a Figura 7, que apresenta o modelo de movimento da água do revestimento para o substrato, os poros somente são ativos para a sucção de água contida numa pasta, se forem menores que os dessa pasta. Os mesoporos<sup>13</sup> e os microporos, por sua vez, estão relacionados com outras propriedades, como a retração e a fluência (KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI, COLLATTO, 2007).

Freire *et al.* (2019) cita os pesquisadores Arandigoyen e Álvarez (2006), Arizzi e Cultrone (2013) e Rato (2006) para explicar o processo de absorção: os maiores poros são os que mais contribuem para a força motriz (perímetros maiores levam a tensões superficiais mais altas) e os menores poros oferecem resistência ao aumento capilar (eles têm uma pressão capilar maior), o que significa que os primeiros são responsáveis pelas taxas iniciais de sucção e, posteriormente, pelo ritmo de absorção observado em seguida, até que a estabilização do sistema seja alcançada.

O transporte de água apresenta uma força de repulsão da água dos poros da argamassa para os poros do substrato devido à retração da argamassa fresca dada à redução dos poros em função da perda da água por sucção do substrato (DETRICHÉ, MASO, 1986).

Carneiro (1993), com base na norma BS 5262 (1976), descreve quatro tipos de base com suas respectivas características:

a) base de material denso, resistente e uniforme, inclui tijolos ou blocos de argila de alta densidade, ou concreto denso e impermeável, podendo, estes últimos, ser pré-fabricados ou produzidos *in loco*. Estes materiais possuem baixa porosidade, pequeno poder de sucção e, portanto, pobre aderência. Nas bases de tijolos ou blocos cerâmicos densos, a retração por secagem é insignificante, porém a expansão por absorção de umidade pode ser significativa para os elementos de cozimento recente;

---

<sup>13</sup> Também denominados poros capilares (PÁSCOA, 2012).

b) base de material poroso e de resistência moderada, inclui grande parte dos tijolos ou blocos cerâmicos e sílico calcários. Estas bases usualmente oferecem algum poder de sucção e aderência satisfatória;

c) base de material poroso e de baixa resistência. Considera-se que os tijolos de baixa resistência necessitam de maior cuidado na seleção do revestimento, do traço de argamassa e do tipo da preparação empregada. Particularmente, é importante que o traço da argamassa de revestimento não seja muito forte, a fim de evitar uma excessiva retração que seria responsável por uma movimentação diferencial indesejável entre a argamassa aplicada e a base;

d) base de concreto com falhas, com grandes vazios que oferece condições de aderência. Geralmente, é bastante resistente às forças de retração impostas pelo revestimento. Possui poucos poros pequenos, resultando uma baixa capilaridade evitando o transtorno de excessiva sucção.

Scartezini e Carasek (2003) observaram, para blocos cerâmicos, uma leve tendência de aumento da resistência de aderência com o aumento da perda de água da argamassa, o que faz sentido de acordo com a teoria dos poros ativos.

O substrato cerâmico tem um grande volume de poros de pequenos diâmetros (PAES, BAUER, CARASEK, 2005). Segundo Gallegos (1995 apud CARASEK, 1996), os poros dessas bases assemelham-se a condutos cilíndricos de textura suave, já os poros constituídos de matriz cimentícia (bloco de concreto e sílico calcário) podem ser comparados com uma sucessão de esferas secantes com textura rugosa devido à sua forma intrínseca ou pela presença de cristais de hidratação na superfície dos agregados. Os poros do bloco cerâmico, apesar de sua elevada força de sucção, possivelmente retiram uma menor quantidade de água da argamassa nos instantes iniciais, comparativamente ao bloco de concreto (PAES, BAUER, CARASEK, 2005).

A explicação do porquê o substrato de concreto succiona uma quantidade maior de água da argamassa nos momentos iniciais, possivelmente está associada à distribuição total de seus poros e na sua interconectividade. A configuração da estrutura porosa deste substrato pode explicar a sua “avidez” (maior sucção) pela água da argamassa. Além disso, suas características superficiais (textura e rugosidade) que favorecem o intertravamento mecânico do revestimento (PAES, 2004).

No entanto, acerca das argamassas de cimento para revestimento, dada a dificuldade experimental, até o momento, não existe uma quantificação do material que penetra nos poros,

tampouco uma comprovação ou negação direta que esses produtos hidratados os colmatem (COSTA, 2014). A pesquisadora ainda acrescenta que para que haja contribuição na aderência, o material nos poros deve apresentar propriedades mecânicas adequadas (COSTA, 2014). Os estudos acerca da influência da porosidade na aderência de revestimentos em pasta ou argamassa de gesso ainda se encontram incipientes.

### 2.3.2.1.1 Capacidade de sucção

O transporte de água líquida em materiais porosos ocorre essencialmente por capilaridade (PÁSCOA, 2012). Os ensaios práticos para analisar a absorção capilar de um material são realizados colocando-se uma superfície do material em contato com uma lâmina de água. A altura da lâmina de água varia, de acordo com a metodologia empregada, de 1 a 10 mm (CASALI, 2008), conforme esquema da Figura 11. Ao retirar o material da água e pesá-lo, pode-se verificar a evolução da massa em função do tempo. A NBR 15270-2 (2017c): Componentes cerâmicos – Blocos e tijolos para alvenaria – Parte 2: Métodos de ensaios apresenta a metodologia deste ensaio para o primeiro minuto (60 segundos), sendo denominada de índice de absorção de água inicial (AAI). Nesta tese, será chamada de IRA, do inglês, *initial rate of absorption*.

Figura 11 – Esquema de teste para determinação da taxa de absorção inicial



Fonte: CHRISTY, SHANTHI, TENSING, 2012.

Um outro parâmetro para verificação do comportamento de sucção de água livre é a absorvidade ou coeficiente de absorção de água (S), que se diferencia do IRA somente em relação ao tempo. Neste último, é feita a determinação durante o primeiro minuto, enquanto no coeficiente de absorção, faz-se em uma série de intervalos de tempos. Assim, o parâmetro “S” estima a velocidade do fluxo de água e é dado pela Equação 5:

$$i = S \sqrt{t} \quad [5]$$

Onde:

i é o volume de água absorvida por unidade de área (g/mm<sup>2</sup>);

S é o coeficiente de absorção de água ( $\text{mm}\cdot\text{min}^{1/2}$ );

t é o tempo.

Taha, El-Dieb e Shrive (2001) cita Voss (1933), que recomenda o uso de 48 horas para o ensaio (tempo total de absorção de água) e Anderegg (1942), que salienta que a taxa de absorção é mais importante que a quantidade total de água absorvida.

A capacidade de absorção de água do substrato poroso e sua absorvidade são os principais parâmetros avaliados por diversos autores que buscam o modelamento das características de desempenho dos revestimentos (LEAL, 2003). De acordo com Paes (2004), a capacidade de absorção de água do substrato é o maior responsável pelo transporte de água da argamassa pós-aplicação que influencia, conseqüentemente, nas características mecânicas dos revestimentos.

Paes (2004) cita autores (HAN, KISHITANI, 1984; GOODWIN, WEST, 1988, MCGILEY, 1990; GROOT, LARBI, 1999) que afirmam que essa absorção no primeiro minuto (IRA) é uma das taxas mais correlacionadas à resistência de aderência. Entretanto, para a pesquisadora, esse é apenas um indicativo do potencial absorvente.

Substratos de alta porosidade podem absorver grande quantidade de água prejudicando a hidratação do ligante (DETRICHÉ, MASO, 1986; POLITO, CARVALHO JÚNIOR, BRANDÃO, 2010).

É importante considerar que a relação água/cimento ou água/gesso utilizadas nas pastas e argamassas é muito superior à necessária para hidratar o cimento ou gesso nas pastas ou argamassas, que é de, aproximadamente, 0,25 e 0,17, respectivamente.

Já os pouco porosos, não permitem a entrada de água para promover a ancoragem (BREA, 2003; PEREIRA, SILVA, COSTA, 2013; TAHA, EL-DIEB, SHRIVE, 2001), além de criar vazios de ar nos espaços antes ocupados pela água (LANGE *et al.*, 1996, 1999 apud SILVA, 2004).

Assim, Mcginly (1990), Goodwin e West (1982) e Han e Kishitani (1984), sendo os dois últimos citados por Silva (2004), acreditam que existe uma faixa de sucção ótima do substrato que proporciona altas resistências de aderência. Há autores que chegam a apresentar valores de IRA mínimos e máximos, de blocos cerâmicos, com vistas a uma aderência adequada (PAES, 2004). Assim, a porosidade e a absorção de água capilar são fatores que devem ser considerados na escolha da base (SELMO, 1989).

Para Murray (1981 apud IOPPI, 1995), onde a absorção é elevada, a aderência do revestimento é melhor. O autor explica que, para tijolos secos, o valor de aderência é bom, todavia, para tijolos muito úmidos a saturados, não importa o tipo, a aderência do revestimento será pobre. O autor ainda completa que há maior acréscimo nos valores de aderência quando ocorre variação de umidade nos tijolos de alta absorção do que variações de umidade em tijolos de baixa absorção (abaixo de  $0,5 \text{ mm/min}^{1/2}$ ).

Entretanto, há também pesquisadores que não encontraram um comportamento bem definido entre a absorção inicial de água dos substratos e a resistência de aderência, como Carasek (1996), Ioppi (1995), Scartezini (2002), Costa (2014), Sarangapani, Reddy e Groot (2002) apud Casali (2008) e Ribar e Dubovoy (1988). Taha, El-Dieb e Shrive (2001) mencionam que distribuições diferentes de poros com fluxos diferentes da água podem resultar nos mesmos valores de IRA.

Para Gallegos (1995 apud SILVA, 2004), a porosidade total não é um bom indicador do potencial absorvente dos substratos, pois a sucção não está associada à estrutura dos poros e sim, ao teor de poros capilares do substrato e, a sucção é medida geralmente em relação à água livre e não em relação a água contida nos poros da argamassa. Além disso, segundo o autor, nos ensaios de IRA, avalia-se a absorção no primeiro minuto, o que não condiz com a realidade, uma vez que o revestimento continua absorvendo água durante mais tempo. Para Paes (2004), o IRA é determinada em presença de água livre, o que não representa fielmente a água contida na argamassa que se encontra de forma “restringida”.

Gallegos (1995 apud PAES, 2004), Paes, Bauer e Carasek (2005) e Scartezini e Carasek (2003) explicam ainda que as características de absorção de água dos blocos cerâmico e de concreto são bastante diferentes: o bloco de concreto apresenta IRA maior que a do bloco cerâmico. No entanto, ao longo do tempo, o bloco cerâmico pode absorver uma maior quantidade de água. Para os pesquisadores, essas informações mostram que, muito provavelmente, o IRA pode não representar com fidelidade o comportamento de absorção de umidade da argamassa fresca pelo substrato, ao longo do tempo.

Carasek (1996), ao analisar a taxa de sucção de água de substratos diferentes, como cerâmico, concreto, silico calcário, verificou, dentro de um mesmo tipo de substrato (mesmo lote e fabricante), coeficientes de variação entre 11 e 43%. Isso é um dos fatores que dificulta encontrar uma relação IRA e resistência de aderência. Pagnussat e Masuero (2011) verificaram

que a temperatura de queima da base cerâmica influencia no IRA e na sucção capilar nas primeiras horas.

Para Paes (2004), o transporte de água das argamassas frescas para os substratos porosos, nos primeiros 60 minutos, verificado por meio de sensores de umidade posicionados internamente à camada de revestimento, é que está associado ao desenvolvimento da resistência de aderência.

#### 2.3.2.1.2 *Efeitos de pré-tratamentos e texturas superficiais*

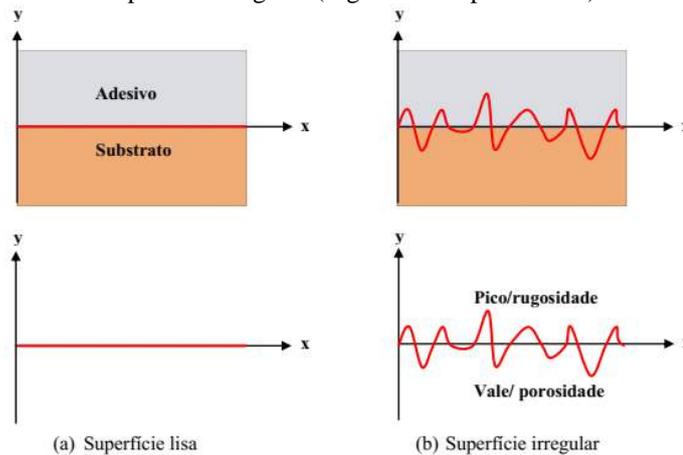
É consenso na literatura que os pré-tratamentos e a textura superficial dos substratos irão causar modificações no mecanismo de aderência do revestimento (CANDIA, FRANCO, 1998; COSTA, 2007; KAZMIERCZAK, BREZEZINSKI, COLLATTO, 2007; PAES, 2004; PRETTO, 2007; SILVA, 2004).

Não há estudos acerca do mecanismo de aderência de revestimentos em pasta de gesso, entretanto, se a aderência for de caráter fundamentalmente mecânico, esta propriedade irá depender da textura superficial, ou seja, da rugosidade dos substratos.

Para Recum, Shannon e Cannon (1996), a topografia define a morfologia de uma superfície e é dividida entre rugosidade e textura. A rugosidade é caracterizada por alterações na topografia da superfície, incluindo picos e vales com tamanho e distribuição aleatórias, podendo ser o resultado da soma da estrutura cristalina do material, dos processos de fabricação ou do acabamento superficial (gravação, retificação ou jateamento de areia). Para os autores, pode ser descrita e quantificada por métodos topográficos e expressa como medições do perfil da superfície. A textura é representada por qualquer conjunto de morfologia, incluindo, entre outras, ranhuras, cordilheiras, colinas e poros. Ainda segundo autores, a porosidade pode ser considerada um caso especial de textura que consiste em poros superficiais individuais ou poros interconectados no material.

Costa (2014) esquematiza planos de superfície lisa e irregular, com picos e vales, que representam, respectivamente, rugosidade e porosidade, conforme Figura 12. Segundo Garbacz, Courard e Kostana (2006 apud CAMPOS, 2014), o termo rugosidade é genérico e pode dar diferentes informações dependendo da escala de análise que se estuda. Para análise da topografia de substratos, pode-se utilizar técnica de interferometria a laser utilizando perfilômetro óptico, além de técnicas de comparação visotátil, a perfilometria de contato mecânico e a microscopia de força atômica (PARRA *et al.*, 2006).

Figura 12 – Representação esquemática do plano superficial do substrato (a) superfície lisa sem poros e (b) superfície irregular (rugosidade + porosidade)



Fonte: COSTA, 2014.

Por meio de micrografias, pode-se verificar as diferenças nas superfícies dos diferentes substratos. Scartezini (2002) mostra que o bloco cerâmico apresenta uma superfície mais densa, compacta e lisa. Já o bloco de concreto possui uma maior rugosidade superficial e uma textura diferenciada que favorece o intertravamento do revestimento, além de permitir uma melhor penetração da pasta ligante no interior do bloco, causando a ancoragem. Para Ioppi *et al.* (1995) e Scartezini e Carasek (2003), essa estrutura superficial é fator que, sem dúvidas, irá causar diferenças na resistência de aderência.

A rugosidade pode alterar o ângulo de contato adesivo, permitir um maior intertravamento do revestimento à base, aumentar a superfície de contato, principalmente se a superfície rugosa tiver poros abertos, além de incrementar também a extensão de aderência (COSTA, 2007). Para Carasek (1990 apud CARASEK, 1996), a rugosidade do tijolo, por si, só não é um bom parâmetro para definir a capacidade de aderência. As conclusões advêm do trabalho realizado pela autora, em que o tijolo cerâmico de menor rugosidade superficial aparente apresentou maiores níveis de aderência.

Quanto ao bloco de concreto, com seus poros de maiores diâmetros (que facilita a saturação do componente), em conjunto com sua rugosidade superficial, gera condições mais favoráveis à penetração da pasta ligante em seu interior e, conseqüentemente, a ancoragem da argamassa (BACKELANDT, 2005; PAES, 2004). Blocos de concreto proporcionaram uma resistência de aderência entre 76 e 130% maiores aos valores produzidos pelos blocos cerâmicos com argamassas (PAES, BAUER, CARASEK, 2005).

As mesmas conclusões foram obtidas por Sousa, Almeida e Almeida (2015) e Neves (2018) utilizando pastas de gesso. Para Neves (2018), o substrato é maior responsável pela variação existente na resistência de aderência.

Quanto ao bloco cerâmico, as estrias na superfície que tem como finalidade aumentar a aderência pelo aumento da área de superfície, podem neste caso provocar sua diminuição devido a formação de grandes vazios (CARASEK, 1996; POLITO, CARVALHO JÚNIOR, BRANDÃO, 2010).

Segundo Carasek, Cascudo e Jucá (2005), é importante destacar que, em relação à ligação do revestimento com o substrato de concreto, com advento do concreto de alta resistência e o uso de fôrmas plastificados, obtém-se uma superfície de textura muito lisa e ‘fechada’, de modo que, com muito baixa absorção de água do substrato, há prejuízo da absorção capilar na camada superficial da base, que permitiria a ancoragem dos produtos de hidratação da argamassa de revestimento no interior do substrato.

Quanto aos tratamentos da base, como pré-umedecimento e chapisco, servem de regularização da absorção de água ou aumento da rugosidade superficial (PAES, 2004) e podem influenciar no mecanismo de aderência tanto com relação à aderência química como no caso de aderência mecânica (GASPAR, 2011).

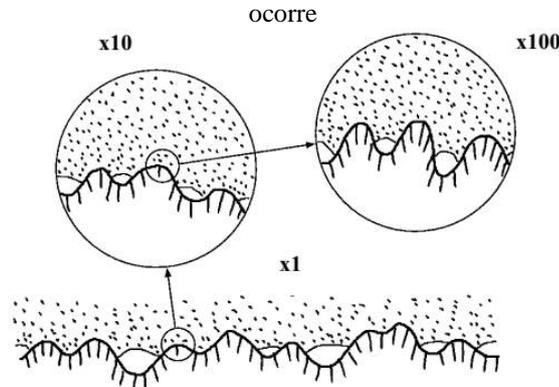
Os tratamentos da base para aderência ao nível químico ocorrem por aplicação dos promotores de aderência ou cimento cola (GASPAR, 2011). Um dos tratamentos mecânicos mais conhecidos é o chapisco, sendo eles de diversos tipos: convencional, rolado, industrializado e com brita. O tipo de material do pré-tratamento tem influência no IRA e na rugosidade (CÂNDIA, FRANCO, 1998, 2000), como também a sua cura pode interferir na aderência (SILVA, GOMES, SANTOS, 2009).

Miranda (2004 apud GASPAR, 2011) afirma que em base de concreto armado, a forma mais eficaz de melhorar a aderência mecânica é a criação de rugosidades através de técnicas de desgaste superficial, como escova de aço, jato de água de elevada pressão ou de areia seca.

A aplicação do chapisco é uma ação que deve ser muito bem avaliada. A depender do tipo de sistema de revestimento, pode não haver um incremento da resistência de aderência, ou até mesmo apresentar uma redução (CÂNDIA, FRANCO, 1998; KAZMIECZAK, BREZEZINSKI, COLLATTO, 2007; SCARTEZINI, 2002). Estudos relatam que o aumento da rugosidade causa uma dificuldade na obtenção de uma boa extensão de aderência (CÂNDIA,

1998; COSTA, 2014), conforme esquema da Figura 13. Entretanto, de acordo Antunes (2005), a utilização do chapisco é a forma mais eficiente de preparo do substrato por alterar simultaneamente a textura superficial e a sucção. A NBR 13867 (1997) recomenda, quando a base for pouco absorvente, a aplicação do chapisco ou emulsões adesivas.

Figura 13 – Contato substrato-adesivo. A natureza multiescala da topografia da superfície do substrato dificulta o contato molecular com o adesivo. Nota-se que na medida em que a área de contato é ampliada menor a área de contato real, isto é, quando a magnificação é aumentada observa-se que na realidade somente o contato parcial



Fonte: PERSSON, 2006.

As juntas de assentamento da alvenaria possuem características diferentes dos blocos, como estrutura e tamanho dos poros, o que influi nas características de absorção de água do substrato, principalmente quando o substrato não é tratado. Assim, o chapisco ajuda parcialmente na homogeneização, diminuindo as diferenças de absorção entre o bloco e a junta (SCARTEZINI *et al.*, 2002).

O estudo encontrado na literatura que avalia o chapisco em revestimento em pasta de gesso é de Sousa, Almeida e Almeida (2015). Os autores estudaram bases de bloco cerâmico e de concreto e, em ambos, o chapisco aumentou os níveis de aderência em até 73,5% (bloco cerâmico pré-umedecido).

O chapisco convencional de cimento é um dos tipos de chapiscos mais utilizados na construção civil, inclusive em obras de paredes de concreto com a aplicação seguida de revestimento em pasta de gesso. Contudo, é importante salientar que produtos cimentícios na presença de sulfatos, que podem ser oriundos do gesso hidratado, podem levar a formação de etringita (trissulfoaluminato de cálcio).

Aguiar e Selmo (2004) explicam que quando a etringita é formada nas primeiras horas da hidratação, é chamada de etringita primária; quando a etringita é formada na pasta endurecida é denominada de etringita tardia. De acordo com os autores, a sua expansão é heterogênea e em

um concreto endurecido pode causar fissuras e lascamentos, ou seja, a sua deterioração progressiva.

A formação da etringita está associada à conversão do monossulfoaluminato novamente em etringita, em função do ingresso de íons  $\text{SO}_4^{-2}$  no meio cimentício (AGUIAR, SELMO, 2004), sendo este sulfato proveniente do cimento (MELO, 2010). De acordo com Nordine (2008), a formação da etringita secundária (tardia) resultante de um aporte de sulfato do meio externo ou de um excesso de sulfato interno (mais raro) causa expansão pela formação massiva de etringita na pasta de cimento endurecida.

O pré-umedecimento da base para aplicação do revestimento tem a função de evitar a secagem prematura dos revestimentos, devido alta absorção do revestimento e/ou tempo quente e seco (FERREIRA, 2017; GASPAR, 2011). No entanto, esse procedimento deve ser realizado com cautela, pois o excesso de umidade pode ocasionar uma redução da resistência de aderência, devido à queda da sucção da base (CARASEK, CASCUDO, SCARTEZINI, 2001). A NBR 13867 (1997) recomenda sempre o pré-umedecimento da base.

Botas, Veiga e Velosa (2014) constataram que no caso de aderência de azulejos antigos aos substratos, os resultados mostraram que há um teor de umidade específica na interface, que maximiza a adesão azulejo-argamassa, de forma que, ultrapassando esse valor, a quantidade de água disponível na interface é excessiva e compromete a conexão. No estudo, os autores observaram que nas argamassas aplicadas sobre ladrilhos secos, a água da interface azulejo/argamassa é rapidamente absorvida, portanto, não existem condições para estabelecer fortes pontos de conexão entre os dois materiais. Porém, se o azulejo ficar molhado por muito tempo, a maioria dos poros fica saturada e não haverá sucção da água da argamassa com finos, evitando assim a aderência.

Conforme Scartezini e Carasek (2003), por análise estatística, em seus testes, o substrato cerâmico sem preparo e umedecido apresentam resultados de aderência equivalentes e pertencem a um mesmo grupo, ou seja, o de mais baixa aderência.

Ferreira, Sousa e Carneiro (2019a, 2019b), em revestimentos em pasta de gesso, com e sem pré-umedecimento da base, verificaram uma queda da resistência de aderência com o pré-umedecimento, provavelmente pela diminuição de sua capacidade de sucção, tendo como resultado uma redução do material que penetra nos poros que garantiria a ancoragem mecânica. Entretanto, mesmo nessas situações, o revestimento apresentou aderência satisfatória.

John e Antunes (2002) comparam a resistência de aderência de revestimentos em argamassa de gesso em bases cerâmica e de bloco de concreto secos e pré-umedecidos; houve redução em ambas as bases com o pré-umedecimento, sendo mais significativa na base de bloco de concreto. Sousa, Almeida e Almeida (2015) também verificaram queda da resistência de aderência com o pré-umedecimento da base de 5 e 23% para bases de cerâmico com e sem chapisco, respectivamente.

Um aumento da extensão de aderência, não necessariamente repercute em um aumento da aderência do revestimento. Carasek (1996) observou um aumento da extensão da aderência quando a argamassa de cimento era aplicada no substrato umedecimento, mas houve queda da resistência de aderência. O fato é justificado pelo aumento da relação água/cimento na interface, que produz uma região de alta porosidade e perda de propriedades mecânicas. Acerca da extensão de aderência, Courard (1998 apud CAMPOS, 2014) salienta que medir a real superfície de contato é difícil, necessitando de escalas muito precisas de medição.

Há de se considerar que as sujidades presentes na alvenaria podem causar influência na aderência. No estudo de Carvalho Júnior (2005), todas as sujidades aplicadas sobre a alvenaria (pulverulência, saibro e gordura) reduziram muito o valor médio da resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa de cimento. Uma dessas sujidades, o desmoldante de formas de estruturas de concreto, podem atuar reduzindo a absorção de água do revestimento pelo substrato (CARASEK, CASCUDO, JUCÁ, 2005; COSTA, 2014; HINCAPIE *et al.*, 1997; PRETTO *et al.*, 2009).

Neste contexto, questiona-se, para revestimento à base de gesso, o que é mais relevante: taxa de sucção do substrato ou a textura? Qual o peso do tratamento da base? O efeito da rugosidade da superfície do substrato na aderência de revestimentos à base de cimento não está totalmente elucidado (CAMPOS, 2014) e, menos ainda, revestimento em pasta de gesso.

#### 2.3.2.2 Pasta

Para Carasek (1996), o fator mais significativo na aderência é o tipo de argamassa. A qualidade da argamassa define a quantidade de água disponível na interface e a resistência dos produtos de hidratação depositados nos poros da superfície unitária (CHRISTY, SHANTHI, TENSING, 2012). Fatores relacionados a dosagem dos materiais, composição e propriedades dela, como

trabalhabilidade, resistência mecânica, retenção de água, teor de ar influenciam a aderência (LAMANA, DELFIN, DULLEMORE, 1970; RUDUIT, 2009; SILVA, 2004).

Os poros no interior da argamassa podem ser ativos, desde que possuam força capilar maior do que a do substrato (PRETTO, 2007). O fluxo de água entre os dois sistemas dependerá do diâmetro dos poros do substrato, do teor de água da argamassa (varia com o tempo), da evaporação e do grau de colmatação dos poros da argamassa (CARASEK, 1996).

De acordo com Sato, Antunes e John (2001), os processos de fixação e transporte de água em pastas de gesso podem ser associados aos que ocorrem nos revestimentos em argamassas. Diante disso, algumas analogias, comparações e levantamento de hipóteses são possíveis entre os materiais pasta de gesso e argamassa de cimento.

Ao comparar pastas de gesso com materiais como concretos e argamassas, verifica-se que as primeiras apresentam maior permeabilidade ao vapor d'água devido à diferença na distribuição e dimensão dos poros, favorecendo as trocas de vapor d'água entre o meio ambiente e o substrato das paredes (por exemplo, blocos cerâmicos ou de concreto) (SATO, ANTUNES, JOHN, 2001).

A seguir são discutidas as influências de alguns desses fatores.

#### *2.3.2.2.1 Materiais constituintes*

As pastas de gesso são formadas pelo gesso em pó para revestimento (hemi-hidrato), água, podendo conter aditivos na mistura. As características dos materiais e o proporcionamento em sistemas de revestimento à base de gesso podem influenciar o mecanismo de aderência revestimento-substrato. Assim, algumas considerações sobre o efeito dos principais materiais são apresentadas a seguir.

- Gesso

Não são encontrados estudos na literatura que correlacionem as características dos gessos para revestimento, tais como finura, composição e teores e a resistência de aderência. Entretanto, por analogia a revestimentos de argamassa de cimento, pode-se sugerir que estes fatores podem influenciar a resistência de aderência de revestimentos à base de gesso.

Freire *et al.* (2019) estudaram amostras de revestimentos antigos à base de gesso (gesso e cal) e verificaram que o (s) tipo (s) de ligante (s) utilizado (s) desempenha um papel fundamental nos resultados obtidos, influenciando tanto a porosidade como a microestrutura dos materiais resultantes. Em geral, observaram que maior teor de gesso significa maior velocidade de pulso ultrassônico, módulo dinâmico de elasticidade e resistência à compressão. Uma tendência inversa é observada nas amostras com maior teor de cal aérea.

Segundo Silva (2013) e CCAA (2001), quanto maior for a dosagem de ligante maior será a aderência. Dubaj (2000) encontrou relação de proporcionalidade entre o consumo de cimento e os resultados de resistência de aderência ao cisalhamento: o alto teor de cimento na pasta, além de conferir resistência, favorece a penetração das partículas finas nos poros da base, aumentando a ancoragem. Para Ribar e Dubovoy (1988), a finura do ligante é um dos fatores de maior influência na aderência. Segundo Costa (2014), a incorporação de partículas finas ( $<1 \mu\text{m}$ ) na matriz pode ocasionar maior incidência de defeitos e heterogeneidade na microestrutura da interface, por apresentarem maior relação área superficial/volume, que causam forças de atração mais intensas e possível aglomeração.

Um papel crítico desempenhado pelo tamanho de partícula de hemi-hidrato já foi evidenciado: pequenas partículas de hemi-hidrato foram rapidamente dissolvidas, enquanto que as partículas grandes ainda não estavam completamente dissolvidas muito depois do material ter começado a se estabelecer (ADRIEN *et al.*, 2016). Os pesquisadores também mostraram que a dissolução final das maiores partículas levou à formação de mesoporos no material hidratado. Isso pode influenciar o mecanismo de aderência dos sistemas de revestimentos à base de gesso.

Polito (2008) avaliou a introdução de cal hidratada nas argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos e sua influência no desempenho e morfologia. O pesquisador observou diferentes morfologias para os cristais de etringita nos diversos traços utilizados, causado provavelmente pela variação do teor de cal e de aglomerante na argamassa, que pareceu não interferir nos resultados de aderência entre a argamassa e o substrato, tendo em vista que em nenhum caso a ruptura ocorreu na interface. Esta variação da cal influenciou na extensão de aderência e no adensamento da argamassa, afetando desta maneira os valores de resistência e a forma de ruptura. Com mais cal, uma maior extensão de aderência foi observada. Nos ensaios de arrancamento, verificou-se que após a ruptura da argamassa, uma fina camada permanece aderida ao tijolo, visível a olho nu, denotando que a ruptura ocorreu pela falta de coesão da

argamassa próxima à interface, afastada cerca de 200  $\mu\text{m}$ , no interior da camada de argamassa, bem próxima a superfície de contato.

A partir deste contexto, abre-se uma pista de investigação essencialmente microestrutural: o efeito da morfologia dos produtos de hidratação do gesso na extensão de aderência, tendo como paradigma argamassa cimentícia.

- Aditivos

A influência dos diversos tipos de aditivos na aderência de pastas de gesso é um assunto que carece de estudos. Várias características podem influenciar a absorção de água da argamassa, inclusive, a utilização de aditivos que modificam o comportamento dos elementos em relação à água (FREIRE *et al.*, 2019).

Andrade *et al.* (2016) realizaram um estudo em pastas de gesso com aditivo incorporador de ar com teores variáveis de 0,025 a 0,075% e com teor fixo de aditivo retardador de pega de 0,02%. Segundo os autores, as pastas apresentaram consistência adequada para aplicação logo após a mistura. No entanto, foi identificado um aumento na viscosidade devido ao aditivo incorporador de ar, o que dificultou a aplicação das pastas de gesso no substrato, comprometendo o acabamento superficial, que apresentou irregularidades e ranhuras. Quanto à resistência de aderência à tração, houve uma queda de 8 a 59% devido ao ar incorporado, sendo a maior perda para o maior teor de aditivo incorporador de ar, mas as pastas ainda apresentaram valor de resistência mínima requisitada por norma. Os autores também verificaram perda de resistência à compressão de 17 a 36% com o aumento do teor de aditivo, mas ainda atenderam aos valores normatizados.

Ferreira (2018) encontrou grande variedade de resultados com a inserção de aditivos incorporadores de ar e superplastificantes, não sendo verificado um comportamento bem definido, mas os valores de resistência de aderência foram superiores ao mínimo.

Costa (2014) cita Carasek (1996), Couvard e Nelis (2003) e Sugo (2000), pesquisas as quais levantam a hipótese de que o uso de incorporador de ar em matrizes cimentícias reduz a aderência, pois as bolhas de ar tendem migrar para a interface aumentando a taxa de defeitos ou reduzindo o contato. No entanto, segundo a pesquisadora, ainda não há estudos que comprovem a migração das bolhas para a interface. Segundo Costa (2014), Sugo (2000) analisou o grau de contato entre a argamassa, com e sem o uso de aditivo incorporador, e o bloco cerâmico por ensaios de microscopia óptica e resistência de aderência. Houve uma

redução de 68% da resistência de aderência para as argamassas com maior concentração de incorporador de ar e a forma de ruptura predominante era na interface argamassa/bloco cerâmico, ao contrário da argamassa sem aditivo que rompeu por coesão. Para o autor, a queda da resistência de aderência foi justificada pela maior quantidade de defeitos na interface do sistema de revestimento pela utilização do incorporador de ar na argamassa.

Carasek (1996) salienta que alguns pesquisadores notaram uma maior redução da aderência quando as argamassas de cimento são aplicadas em bases de alta sucção e quando as argamassas são pobres. Carasek (1996) cita o trabalho de Opperman e Rudert (1983) que, por MEV, verificaram que mais importante que a quantidade de ar incorporada é o tamanho da bolha.

Acerca de aditivos retardadores de pega, segundo Lanzón e García-Ruiz (2012), pode ou não se ter perda das propriedades mecânicas em função do teor. De acordo com Gartner (2009), a maioria dos aditivos orgânicos retarda o crescimento do cristal de gesso, muda a morfologia dos cristalitos e diminui o número de cristalitos/volume da unidade, levando a reduções na área de contato e força (exceto em alguns casos, em baixas dosagens).

Em 1995, Dias e Cincotto (1995) recomendavam a não utilização de aditivos retardadores de pega em obra, pois tratando-se de baixos teores de aditivos, apresentam problemas de homogeneização. De fato, durante muito tempo eles não eram utilizados, mas este cenário vem sendo alterado.

- Água

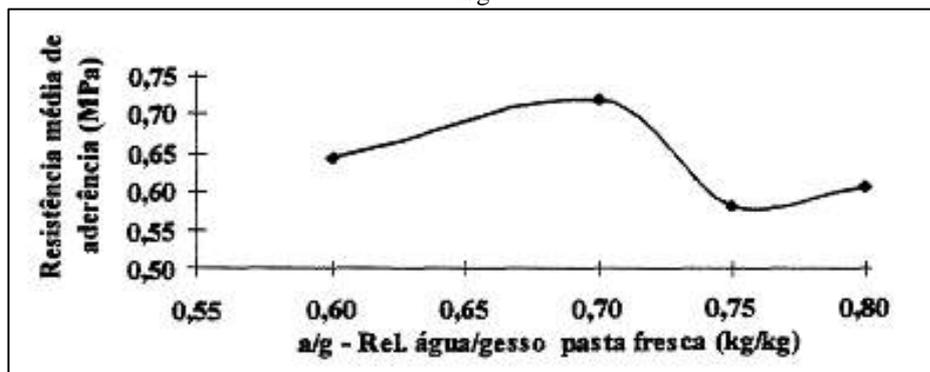
A água é um ingrediente essencial na argamassa uma vez que ela possui duas funções fundamentais: como único líquido, possibilita que a mistura seja trabalhável; e, combina quimicamente com os ligantes proporcionando o endurecimento e a resistência (CARASEK, 1996).

A quantidade de água do revestimento é um dos fatores que mais influi na cinética de hidratação e nas propriedades mecânicas do gesso, e irá depender da superfície específica, da finura, da forma e da distribuição dos grãos de gesso. Quanto maior a superfície específica, maior a área de reação, mais rápida a dissolução e menor o período de indução do material e, conseqüentemente, mais rápido é o início de pega do material (PINHEIRO, 2011; ERBS *et al.*, 2015). A presença de impurezas é outro fator que acelera a pega das pastas (ANTUNES; JOHN, 2000).

Segundo Dias e Cincotto (1995), a água empregada deve ser limpa, livre de materiais deletérios, evitando-se o uso de água proveniente de mar ou rio. Frequentemente, a água fornecida pela rede pública – uso doméstico, pode ser utilizada, cabendo aos responsáveis fiscalização constante, no sentido de identificar qualquer mudança que haja no fornecimento. Os pesquisadores explicam que água contendo quantidades elevadas de sais dissolvidos ou alumínio, ou mesmo aquelas empregadas para limpeza de ferramentas, também devem ser evitadas, pois aceleram a pega do gesso e podem causar eflorescência. Água estagnada, em geral, contém matéria orgânica ou vegetal, podendo retardar a pega, causar mancha e/ou interferir na capacidade de aderência.

Ribar e Dubovoy (1988), em seus estudos, concluíram que o teor de água é um dos fatores de maior influência na aderência. Hincapie *et al.* (1997) realizaram ensaios de aderência de pastas de gesso em diferentes substratos. Os resultados mostraram que a resistência de aderência dos revestimentos de gesso é afetada pela relação água/gesso, conforme se pode observar na Figura 14.

Figura 14 – Resistência de aderência dos revestimentos de gesso sobre substrato cerâmico em função da relação a/g



Fonte: HINCAPIE *et al.*, 1997.

De acordo com Ferreira (2017), o comportamento da curva sugere que, para valores de relação a/g abaixo de 0,6, tem-se uma queda na resistência de aderência ocasionada pela dificuldade de aplicação da pasta, ou seja, por uma menor trabalhabilidade. À medida que se aumenta a relação a/g até 0,7, tem-se um ganho da propriedade. A partir desse valor, um incremento no teor de água repercute na queda de resistência. O comportamento da curva para relações a/g entre 0,75 e 0,8 pode ser devido algum erro, interferência ou variabilidade do ensaio.

Pastas com relação a/g 0,60 ou 0,70, a ruptura foi preferencialmente no substrato; quando foi aumentado para 0,75 a ruptura foi na interface pasta/bloco; com 0,80 entre a interface

pasta/bloco e na própria pasta (HINCAPIE *et al.*, 1997), o que se conclui uma perda de aderência e de propriedades mecânicas com aumento do teor de água.

#### 2.3.2.2.2 *Propriedades das pastas e argamassas*

São apresentados e discutidos aspectos associados e influentes na resistência de aderência.

- **Trabalhabilidade**

A trabalhabilidade é uma das propriedades mais importantes e complexas do estado fresco da argamassa (SOUSA, 2005). É definida como a habilidade de fluir ou espalhar-se sobre a superfície do componente do substrato, por suas saliências, protuberâncias e fissuras, definindo a intimidade do contato entre a argamassa e o substrato, relacionando-se, assim, com a aderência e sua extensão (CARASEK, 1996; CARASEK; DJANIKIAN, 1993 apud IOPPI, 1995; KAMPF, 1963).

Consistência e plasticidade, fatores que condicionam a trabalhabilidade, são alteradas quando entram em contato com o substrato (CARASEK, 1996). O primeiro fator é a propriedade pela qual a argamassa tender a resistir às deformações, e o segundo, define-se como a propriedade que permite à argamassa deforma-se sem ruptura, sob a ação de forças superiores às que promovem a sua estabilidade, mantendo a deformação depois de retirado o esforço (RILEM, 1982 apud SOUSA, 2005). A qualidade e quantidade das alterações na consistência e plasticidade irão depender das características do substrato, como sucção, textura superficial e características de movimentação de água no seu interior (CARASEK, 1996).

A deficiente trabalhabilidade da argamassa conduz a baixas extensões de aderência, particularmente quando os suportes apresentam reentrâncias; pois, a argamassa não consegue penetrar adequadamente nas mesmas, deixando vazios na interface base-argamassa (GASPAR, 2011). Uma argamassa trabalhável proporciona mais extensão de aderência, melhorando a capacidade aderente (TRISTÃO, 1995; CARASEK, 1996).

A capacidade de ser aderido depende principalmente da absorção de tijolos e da retenção de água e da consistência da argamassa (CARASEK, DJANIKIAN, 1993 apud IOPPI, 1995; KAMPF, 1963). Segundo Carneiro (1993), são as elevadas finura e área específica responsáveis pela retenção, pois quanto maior a área específica, mais moléculas de água são retidas. Para

Veiga (1998), o processo mais adequado para melhorar a trabalhabilidade é a incorporação de cal ou de aditivos apropriados, como os superplastificantes.

Segundo Carasek (1996), a influência da consistência da argamassa é diferenciada para cada traço e para cada tipo de tijolo sobre o qual ela é aplicada. No entanto, existe uma tendência geral de crescimento da resistência de aderência com o aumento da fluidez da argamassa até um ponto ótimo, após o qual há uma queda na aderência.

Nas pastas de gesso, a trabalhabilidade depende de dois fatores: a consistência e os tempos de pega, que devem ser adequados à finalidade de seu uso. O tempo de pega deve garantir o manuseio do material, antes que se inicie a pega, e a consistência deve garantir a moldagem e a coesão do material (JOHN, CINCOTTO, 2007). Segundo Ye *et al.* (2011), a água requerida para manter a trabalhabilidade/fluidez da pasta de gesso é função da distribuição do tamanho das partículas do material em pó e varia em função do diâmetro característico da partícula (finura do material) e do coeficiente de uniformidade (formato da curva de distribuição desses grãos).

- Propriedades mecânicas

Segundo Tristão (1995), a resistência mecânica das argamassas de revestimento, embora não seja uma propriedade fundamental e determinante, como é no concreto, tem sua importância devido à relação com outras propriedades, como a elasticidade.

Não são encontrados estudos na literatura estudos que relacionem a aderência de revestimento em pasta de gesso com as propriedades mecânicas. No caso de argamassas de cimento, há estudos controversos: aqueles que veem uma ligação entre a aderência e propriedades mecânicas e outros não. Contudo, é importante destacar que estas propriedades serão influenciadas também das proporções utilizadas, da relação água/cimento, do substrato utilizado para o ensaio, entre outros.

### 2.3.2.3 Mão de obra

A mão de obra exerce influência na aderência. Pouco estudo é encontrado na literatura relacionando essa propriedade com o processo executivo em revestimentos em pasta de gesso. Costa e Silva, Delgado e Azevedo (2021) avaliaram a influência de três alturas de aplicação do revestimento em pasta de gesso (até 0,6 m, entre 0,6 m e 1,2 m, e acima de 1,2 m) na resistência

de aderência e não encontraram relação com a ergonomia, em decorrência do natural processo de aplicação da pasta de gesso efetuado com pressão da massa sobre a parede, contudo, maiores resistências foram encontradas entre 60 e 120 cm.

Freire et. al. (2019) mostraram que processo de fabricação/aplicação também interfere na porosidade em revestimentos históricos de gesso-calcita, quando se comparou elementos moldados no local e os pré-moldados. Com base nas pesquisas já desenvolvidas em revestimentos com ligante principal cimento, pode-se depreender que há relação entre a resistência de aderência e a mão de obra.

Paes (2004) acrescenta que se a pressão (“aperto”) exercida pelo oficial pedreiro na hora de comprimir a argamassa de revestimento ao substrato, não for suficientemente forte a ponto de ocasionar um contato íntimo da argamassa sobre o substrato, pode gerar falhas de contato na interface entre os dois materiais. A autora atribui a influência da mão de obra como sendo uma das possíveis causas da variabilidade da resistência de aderência à tração dos revestimentos.

Equipamentos de projeção conduzem a um maior controle da aderência de argamassas, pois além de padronizar a energia, este método requer um certo comportamento reológico adequado para a sua aplicação (ANTUNES, 2005; DUALIBE, CAVANI, OLIVEIRA, 2005).

Além do processo de execução do revestimento, Medeiros (1993 apud CASALI, 2008) explica que a mão de obra também influencia em fatores como proporcionamento e misturas incorretas dos materiais, ajuste inadequado da taxa de sucção dos blocos e dos tijolos, alinhamento e prumo incorretos.

#### 2.3.2.4 Fatores extrínsecos

Além dos fatores intrínsecos associados aos materiais e dosagem, interação da base com o revestimento, os fatores externos também exercem influência na formação dos mecanismos de aderência.

##### 2.3.2.4.1 *Condições de cura*

Não são encontrados estudos acerca da influência da aderência e as condições ambientais ou de secagem de revestimento à base de gesso. Todavia, sabe-se que as condições de secagem e ambientes podem alterar o mecanismo de hidratação do revestimento e, conseqüentemente, provocar alterações na aderência.

Como o gesso é higroscópico, é importante conhecer o efeito da umidade ambiental na sua resistência (KARNI, KARNI, 1995). De acordo com Peres, Benachour, Santos (2008), a duração da secagem dos elementos e principalmente dos revestimentos de gesso após aplicação é função do tipo de gesso, mas especialmente das condições higrotérmicas e da ventilação no ambiente. Os autores alertam que quando se deseja diminuir o tempo de secagem aumentando a temperatura do ambiente, deve-se ter o cuidado de evitar expor os revestimentos e elementos de gesso a temperaturas próximas de 50°C.

Arafah, Alzaid, Al-Haddad (1996), em estudos com concreto, colocam que “calor do ambiente” deve ser encarado como uma combinação de fatores como variações de alta temperatura do ar, reduzida umidade relativa e velocidade do vento. A aderência tem que ser suficiente para aguentar a sucção provocada pelas variações de temperatura, entre outros fatores (VIEIRA, 2009).

#### *2.3.2.4.2 Evolução da resistência ao longo do tempo*

A evolução da resistência depende de vários fatores além da idade, como por exemplo a natureza e as proporções dos ligantes empregados, além das condições de cura do revestimento (CARASEK, 1996). Não foram encontrados estudos que abordassem a evolução da resistência de aderência de revestimento em pasta de gesso ao longo do tempo. Pelo gesso ser um material higroscópico, a sua resistência dependerá das condições ambientes, de modo que, com uma umidade ambiente alta, a resistência será mais baixa e vice-versa.

De acordo com Scartezini e Carasek (2003), em estudos com argamassas de cimento, concluíram que a idade do revestimento influencia na resistência de aderência, porém sem uma coerência física ao longo do tempo e, desta forma, não se encaixam regressões para explicar o seu comportamento.

Carasek e Scartezini (1999) estudaram a evolução da resistência de aderência de revestimento de argamassa sobre alvenaria de blocos cerâmicos ao longo do tempo. Para tal realizaram ensaios de arrancamento aos 2, 7, 14 e 23 dias e aos 4, 8 e 12 meses. Os autores verificaram a ocorrência de picos de resistência logo nas primeiras idades, entre 7 a 14 dias, ocorrendo depois uma queda na resistência até ao valor obtido aos 23 dias, e, em seguida, manutenção desse valor. Segundo os autores, este comportamento pode ser explicado pela retração da argamassa

que, ao ocorrer em seu máximo, pode ter gerado tensões na interface prejudicando a ligação existente e redução da resistência de aderência.

Os autores também observaram nítidas alterações no local de ruptura ao longo do tempo. Nas primeiras idades, verificou-se uma maior incidência de ruptura no interior da argamassa de revestimento, próxima a região de interface, indicando uma baixa coesão da argamassa naquela região. Nas idades mais avançadas, predominou a ruptura na região realmente de interface. Segundo os autores, essa alteração no local de ruptura, caminhando da argamassa em direção ao substrato, pode ser decorrente de movimentações diferenciais entre a base e o revestimento, que ao longo do tempo, geram tensões que enfraquecem as ligações na interface. Isso também pode estar associado a um possível aumento de resistência da argamassa, de modo que, o ponto mais fraco passou a ser a interface.

### **2.3.3 Microestrutura da interface revestimento/substrato**

Não se conhece a microestrutura da interface substrato e revestimento em pasta de gesso. Para argamassas de cimento, segundo Carasek (1996), os primeiros estudos datam a década de 30, sendo o mecanismo de aderência muito estudado e registrado nas diferentes fontes de pesquisa bibliográfica, embora com algumas divergências entre pesquisadores.

Esses estudos foram analisados pois, embora sejam de um outro material (cimento), muitos deles podem servir para levantamento de hipóteses e de metodologias no desenvolvimento de estudos acerca do mecanismo de aderência do sistema de revestimento em pasta de gesso.

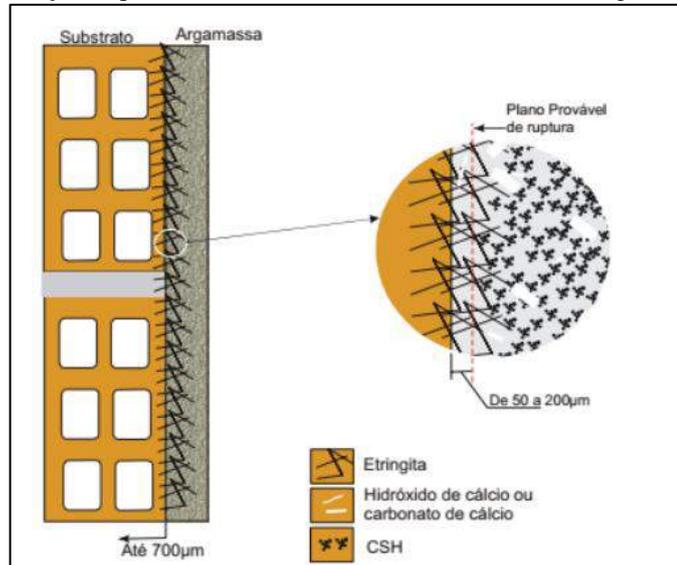
Zanelato (2015) resume as duas linhas de pensamentos divergentes em relação aos mecanismos de aderência de argamassa de cimento:

1. A aderência é dada pela formação de uma camada rica em cálcio na interface substrato/argamassa, com a precipitação de cristais de hidróxido de cálcio e eventualmente carbonato de cálcio, acompanhada da deposição de cristais de trissulfoaluminato de cálcio hidratado (etringita) e silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), que, segundo o pesquisador, é defendida por Voss (1933), Chase (1984) e Lawrence & Cao (1987, 1988);
2. A interface substrato/argamassa é composta principalmente por cristais de etringita, que, segundo o pesquisador, é defendida pelos pesquisadores do INSA (Institut National de

Sciences Appliquées), como Detriché, Dupin, Farran, Grandet e Maso, além de Carasek (1996).

Carasek, Cascudo e Scartezini (2001) explicam o mecanismo de aderência conforme Figura 15.

Figura 15 – Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa e bloco cerâmico



Fonte: CARASEK, CASCUDO, SCARTEZINI, 2001.

Conforme Polito, Carvalho Júnior e Brandão (2010), no caso de argamassas de cimento, a gipsita é a primeira a se solubilizar e liberar íons sulfato e em seguida os aluminatos. Estes íons são então sugados pelo substrato poroso e levados à interface, onde ocorre a precipitação na forma etringita.

Diversas metodologias foram empregadas para investigação do mecanismo de aderência de argamassas de cimento com os diferentes substratos e podem ser empregadas nos sistemas à base de gesso, com as adaptações necessárias devido a diferença das características e propriedades dos materiais, como microscopia eletrônica de varredura (MEV), termogravimetria, difração de raio X (DRX), fluorescência de raio X (FRX), análise petrográfica, microscópio óptico, conforme Quadro 5.

Os pesquisadores buscaram constatar com esses métodos a morfologia e a composição dos produtos na interface, bem como se há penetração e a profundidade desses no substrato, todos em função da idade, tempo e tipo de cura, composição da pasta, pré-tratamento da base, tipo de substrato em sistemas à base de argamassas de cimento.

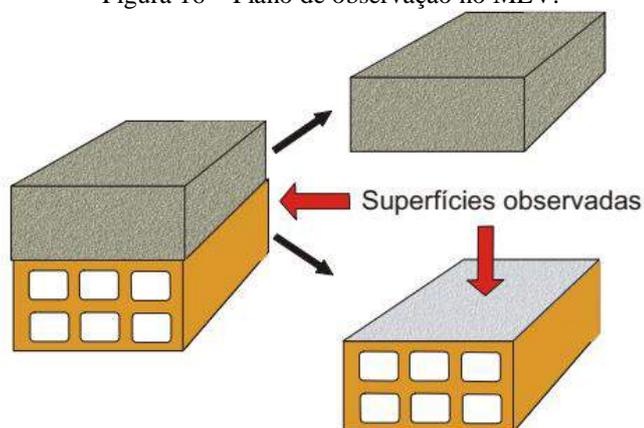
Quadro 5 – Métodos utilizados pelos respectivos pesquisadores para análise da interface do substrato e argamassa de cimento

Método	Pesquisadores
Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	Carasek (1996), Carasek <i>et al.</i> (1997), Carvalho Júnior (2005), Grandet (1973 apud SILVA, 2004), Institut Nacional de Sciences Appliquées de Toulouse (INSA), segundo Carasek (1996), Lawrence e Cao (1988), Monteiro e Mehta (1986), Polito, Carvalho Júnior e Brandão (2010), Silva (2004), Sugo, Page e Lawrence (2001)
Termogravimetria	<i>Institut Nacional de Sciences Appliquées</i> de Toulouse (INSA), segundo Carasek (1996),
Difração de raio X (DRX)	Chase (1983), Grandet (1973) apud Silva (2004), <i>Institut Nacional de Sciences Appliquées</i> de Toulouse (INSA), segundo Carasek (1996).
Fluorescência de raio X (FRX)	Carvalho Júnior (2005), Polito (2008), Polito, Carvalho Júnior e Brandão (2010)
Análise petrográfica/microscópio ótico	Staley (1940 apud Silva, 2004); Sugo, Page e Lawrence (2001); Voss (1933 apud SILVA, 2004)

Fonte: Autora, 2021.

Para análise da interface do revestimento por meio de MEV, coleta-se amostras da interface do revestimento. Em seguida, pode-se descolar, na amostra da interface, o revestimento do substrato por um esforço de flexão, e analisar a face que estava em contato com o revestimento, no caso de análise do substrato, ou do substrato, no caso de análise do revestimento. O esquema de análise das amostras é apresentado na Figura 16 e foi utilizado por pesquisadores como Carasek (1996) e Polito, Carvalho Júnior e Brandão (2010).

Figura 16 – Plano de observação no MEV.



Fonte: POLITO, 2008.

#### 2.3.4 Métodos para avaliação da resistência de aderência

Embora existam métodos não destrutivos para verificação da eficiência adesiva para controle qualitativo de áreas unidas por meio de aparelhos de ultrassom e vibrações sônicas, para

avaliação bem-sucedida e quantificada da resistência de aderência dos revestimentos, os métodos são destrutivos (CARASEK, 1996).

Um dos métodos mais utilizados é o da resistência de aderência à tração. Para argamassas inorgânicas de revestimento, na ABNT, há metodologia de avaliação apresentada pelas normas:

- NBR 13528-1 (2019e): Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 1: Requisitos gerais.
- NBR 13528-2 (2019f): Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 2: Aderência ao substrato.
- NBR 13528-3 (2019g): Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 3: Aderência superficial.

Para pastas de gesso, não há metodologia específica. Segundo a NBR 13207 (2017a), estes revestimentos devem apresentar uma resistência de aderência à tração de 0,2 MPa. A sequência do ensaio da NBR 13528-2 (2019f) é apresentada na Figura 17. O ensaio consiste em realizar cortes circulares a seco em cada alvenaria com uma serra copo espaçadas entre si e da borda, no mínimo, 5 cm (Figura 17a); fazer a limpeza da superfície para retirada do material pulverulento para colagem de pastilhas nos corpos de prova (cortes circulares) (Figura 17b); acoplar o dinamômetro nas pastilhas (Figura 17c) para aplicação de uma força de tração até o destacamento do corpo de prova, devendo o valor da carga de ruptura ser registrado para cálculo de resistência de aderência à tração, bem como a forma de ruptura de todos os corpos de prova dos revestimentos.

Figura 17 – Sequência do ensaio de resistência de aderência à tração: a) Cortes circulares a seco no revestimento gesso para colagem das pastilhas; b) pastilhas coladas nos corpos de prova; c) dinamômetro acoplado na pastilha para aplicação de uma força de tração



Fonte: FERREIRA, 2017.

O procedimento do ensaio de arrancamento apresenta algumas críticas. Entretanto, não há outro ensaio mais adequado e prático para se avaliar a aderência dos revestimentos ao substrato. As críticas vêm da variabilidade e da dispersão dos resultados encontrados nos ensaios de aderência, que tem provocado questionamentos a respeito da confiabilidade do ensaio. Alguns

pesquisadores já realizaram estudos para investigação dessa variabilidade (COSTA, 2007; COSTA, CARASEK, 2009; GONÇALVES, 2004; SARAIVA, BAUER, GONÇALVES, 2010), de modo que concluíram que alguns aspectos influenciam:

- Geometria e dimensões do corpo de prova, a espessura da camada de cola e a forma de aplicação da carga interferem na distribuição de tensões;
- Formato do corpo de prova;
- Tipo de cola e possível retração;
- Excentricidade na aplicação da carga ou falta de verticalidade do equipamento;
- Tipo de equipamento de aplicação da carga, por exemplo, alavanca ou equipamento hidráulico;
- Taxa de carregamento;
- Altura de aplicação da argamassa: dependendo da altura, o oficial-pedreiro apresenta maior facilidade ergonômica para promover um lançamento adequado ao bom espalhamento da argamassa, promovendo maior extensão de aderência na interface e incrementando a resistência.

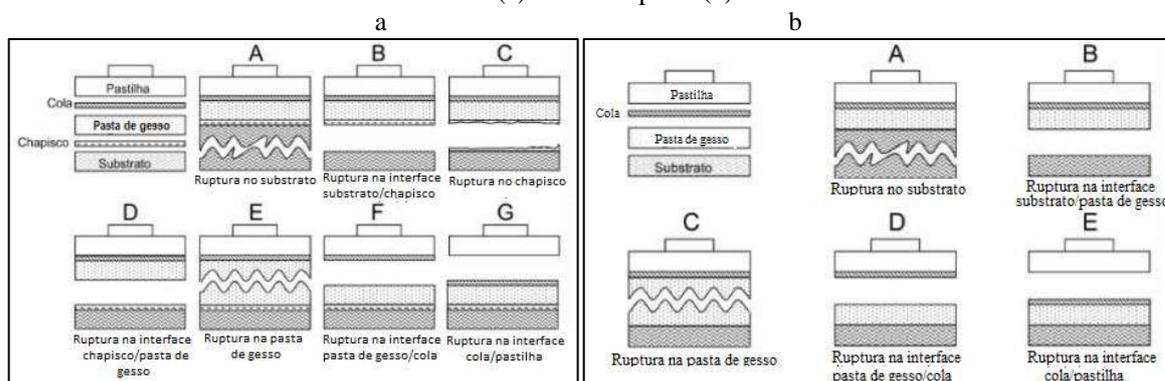
Após finalização do ensaio, classifica-se a ruptura como coesiva ou adesiva. A ruptura é do tipo coesiva quando acontece no interior da argamassa ou do substrato. Quando a ruptura ocorre na interface argamassa/substrato é do tipo adesiva. O esquema da Figura 18 da NBR 13528-2 (2019f) apresenta os tipos de ruptura dos revestimentos adaptados para o caso de pastas de gesso, com e sem chapisco. Esta será a metodologia empregada na presente tese, por ser a mais prática e usual.

Metodologias semelhantes são prescritas pela RILEM MR-21 (1982) – *Determination of the bond strength between bricks or blocks and mortar (direct pull-test)* (Determinação da resistência de aderência entre tijolos e blocos e argamassas (arrancamento direto)) (FLORES-COLEN, BRITO, BRANCO, 2007), e EN 13279-2 (2004): *Gypsum binders and gypsum plasters: Test methods* (Ligantes e revestimentos de gesso: métodos de ensaio).

Segundo Flores-Colen, Brito e Branco (2007) e Vieira (2009), o ensaio *pull off* (arrancamento) também está na ficha de ensaio do LNEC FE Pa36 (1986) - Revestimento de paredes - Ensaio de arrancamento por tracção - Ficha de ensaio FE, na norma Europeia EN 1015-12 (2000) -

*Methods of test for mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates* (Método de ensaio para argamassas para alvenaria - Parte 12: Determinação da resistência de aderência de argamassas para revestimento em substratos) e na EN 1348 (1997) – *Determination of tensile adhesion strength for cementitious adhesives* (Determinação da resistência à tração para adesivos cimentícios) para cimentos-cola. A ASTM E2270-14 (2019) – *Standard Practice for Periodic Inspection of Building Facades for Unsafe conditions* (Método de ensaio para inspeção periódica de fachadas de edifícios em condições inseguras) orienta o ensaio em caso de inspeção de fachadas, mas não apresenta a metodologia de ensaio.

Figura 18 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento com (a) e sem chapisco (b)



Fonte: adaptação NBR 13528-2, 2019f.

A recomendação RILEM MDT D.3 (2004) – *Determination in situ of the adhesive strength of rendering and plastering mortars to their substrate* (Determinação *in situ* da resistência de aderência de revestimentos de argamassas nos seus substratos) introduz alterações à norma EN 1015-12 com vista à aplicação *in-situ* (GASPAR, 2011).

Segundo Flores-Colen, Brito e Branco (2007) e Vieira (2009), as vantagens desse ensaio são sua facilidade de execução e de interpretação dos resultados, obtenção de uma característica de desempenho, não necessita de fonte de energia e resultados confiáveis; como desvantagens, a realização de ensaio não é contínua (existe uma primeira fase de preparação e colagem das pastilhas, uma segunda de realização do ensaio e uma terceira de reparação dos locais ensaiados), é uma técnica destrutiva, necessita de mais de um técnico na realização do ensaio e se realizado na obra, são necessários meios de acesso aos locais de ensaio (escada, balancim).

Uma outra forma de avaliar a aderência é por meio da resistência de aderência ao cisalhamento, que é importante para se verificar as tensões de cisalhamento que ocorrem na interface substrato/argamassa. Para medir essa resistência, há o método da MR-14 – *Determination of*

*the bond of renderings by shear tests* (Determinação da aderência de revestimentos por testes de cisalhamento) recomendados pela RILEM (1982); entretanto, não se tem muitos estudos realizados usando esse método (GASPAR, 2011; PRETTO, 2007). São poucos estudos no Brasil sobre o ensaio de resistência ao cisalhamento em revestimentos de argamassa. Há também o ensaio prescrito pela RILEM - MR 20 (1994) – *Determination of the bond strength of renderings by torsion tests* (Determinação da resistência de aderência dos revestimentos por ensaios de torção).

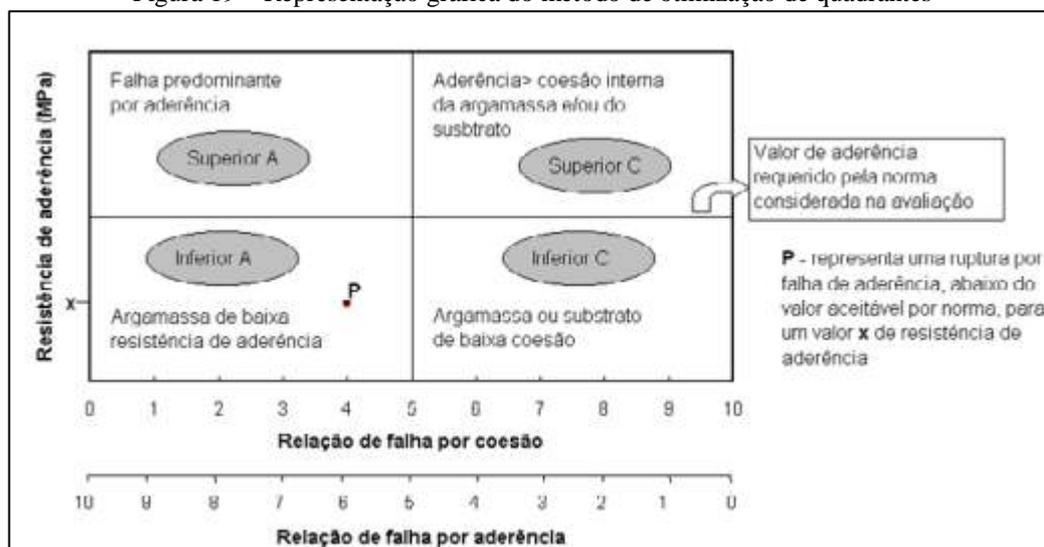
Franco e Collantes (1999) desenvolveram um procedimento de ensaio para medir a resistência de aderência ao cisalhamento dos revestimentos, mostrando análises comparativas entre a resistência de aderência à tração e a resistência de aderência ao cisalhamento. Os resultados desta pesquisa permitiram concluir que as resistências de aderência ao cisalhamento foram aproximadamente 1,4 vezes superiores em relação às resistências de aderência à tração e a metodologia e aparelho podem ser utilizados para outras pesquisas.

Após realização do ensaio de resistência de aderência, pode-se analisar a sua relação com os tipos de ruptura através da representação gráfica pelo método de otimização de quadrantes proposto por Pareek *et al.* (1995 apud SILVA, 2004), conforme esquema da Figura 19. Neste método, os valores de resistência de aderência são inseridos em gráfico que está em função do tipo de ruptura ocorrido no corpo-de-prova. O eixo das abscissas do gráfico refere-se à relação entre a área de falha por coesão e a área total da seção transversal do corpo de prova ensaiado, multiplicada por dez. A falha por coesão inclui a ruptura no interior da camada do revestimento e a ruptura de parte do substrato. Pode ser calculada e representada também a relação complementar, ou seja, a relação entre a área de falha por descolamento (separação na interface dos materiais estudados) e a área total. No eixo das ordenadas, são apresentados os valores das resistências de aderência obtidos no ensaio para aquele determinado corpo de prova. O gráfico é dividido em quatro quadrantes, onde a divisão vertical é definida no ponto que a relação dos tipos de falha equivale a 5. A divisão horizontal é delimitada pelo valor de resistência de aderência mínimo requisitado.

Desse modo, pode-se caracterizar dois tipos de falha: a coesiva, quando ocorre no interior do substrato ou do revestimento, e a adesiva, que ocorre na interface do sistema de revestimento. Por exemplo, se há um corpo de prova no quadrante superior A, tem-se predomínio de ruptura na interface, ou seja, adesiva, com valor aceitável, pois é superior ao mínimo requisitado pela

norma. No quadrante C inferior, há ruptura por falta de coesão do substrato ou de ambos e a resistência obtida é menor que a solicitada por norma.

Figura 19 – Representação gráfica do método de otimização de quadrantes



Fonte: PAREEK *et al.*, 1995 apud SILVA, 2004.

## 2.4 DESTAQUES DO LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O revestimento em pasta de gesso vem ganhando mais espaço na construção civil em detrimento do revestimento de argamassa de cimento. A utilização deste revestimento apresenta grandes vantagens técnicas, econômicas e sociais, que podem ser citadas:

- Tecnicamente, as vantagens do revestimento à base de gesso incluem, quando em pasta (hemi-hidrato + água), aplicação em camada única, substituindo as camadas (emboço, reboco) do sistema tradicional, diminui a carga da parede, pouca necessidade de massa corrida no acabamento final, reduz o número de operários na execução (FERREIRA, 2017).
- Do ponto de vista econômico, o gesso é um material de baixo custo quando se compara com o preço do cimento no Brasil, uma vez que este último é um dos ligantes mais utilizados para revestimentos de argamassas, apresenta menor tempo de aplicação, o que reduz também o custo de mão de obra.
- Do ponto de vista social, o Brasil apresenta uma das maiores reservas de gipsita do mundo e baixo consumo (11 kg per capita, segundo DNPM, 2018) em relação a países industrializados, sendo o Polo Gesseiro da Região do Araripe, em Pernambuco, o principal estado produtor de gipsita do Brasil, responsável por 79,7% do total produzido

(DNPM, 2018). A produção de gesso é de grande importância para os moradores do Polo. Há necessidade de potencializar a exploração e uso de gesso, como forma de fomentar a economia nacional.

Acrescenta-se ainda que o gesso é um material sustentável por apresentar uma baixa energia incorporada (baixa temperatura de calcinação) e é reciclável, além de ser resistente ao fogo, atuando de modo a consumir calor e liberar água do di-hidrato quando em contato com o fogo.

Dentro deste contexto de utilização do revestimento em pasta de gesso, a resistência de aderência dos revestimentos é uma das propriedades mais importantes para o sistema de revestimento e tem sido objeto de estudos de muitos pesquisadores, devido à importância (CARVALHO, 2016).

Para o sistema de revestimento em argamassas de cimento, o mecanismo de aderência e os fatores de influência são conhecidos, pois já foram estudados por diversos pesquisadores, como Casasek (1996), Carasek, Cascudo e Scartezini (2001), Costa e Carasek (2009), Costa (2007, 2014), Detriche e Grandet (1981), Gonçalves (2004), Lamana (1970), Lawrence e Cao (1988), Leal (2003), Kampf (1963), Paes (2004), Palmer e Parsons (1934), Polito, Carvalho Júnior e Brandão (2010), Ribar e Dubovoy (1988) e Tristão (1995).

A literatura a respeito da aderência dos sistemas de revestimento de gesso é restrita à pequenas investigações experimentais de Dias e Cincotto (1995), Delgado e Pires Sobrinho (1997), Hincapie *et al.* (1997), Sousa, Almeida e Almeida (2015), Neves (2018) e Costa e Silva, Delgado e Azevedo (2021). Todos avaliaram a aderência por ensaio de resistência de aderência à tração e apenas as duas primeiras publicações trazem dados de argamassas de gesso, além de pastas (hemi-hidrato + água).

As demais pesquisas com pastas de gesso não tratam da avaliação da capacidade aderente do gesso, apresentando outros focos. No levantamento bibliográfico realizado nesta pesquisa, não foram localizados estudos abordando o fenômeno de aderência da interface substrato e a pasta de gesso, incluindo influência das características da base, espessuras, composição do revestimento, umidade, idade do revestimento, os tipos de ruptura que caracterizam esse tipo de sistema, bem como a caracterização do mecanismo de aderência. Além disso, o meio nacional apresenta anseios por regulamentações e especificações de controle de produção, aplicação e qualidade do produto final para garantia da vida útil dos revestimentos em pasta de gesso, visto que, a NBR 13867 (1997), a NBR 16618 (2017e) e a NBR 16689 (2019d)

apresentam lacunas que causam inconsistência na definição de processos construtivos (da execução à avaliação do produto final) para esse revestimento.

São fatores que governam a aderência do revestimento das argamassas: materiais (constituintes, tipo e proporção, granulometria, reologia, presença de aditivos), substrato (rugosidade, capilaridade/sucção, teor de umidade, tipo), processo executivo (fatores relacionados à mistura e aplicação da argamassa (manual ou mecanizada), tratamento superficial, cura, espessura) e condições climáticas (temperatura, umidade relativa do ar e vento), podendo ainda existir um efeito sinérgico entre esses fatores (ANTUNES, 2005; BAKER, 1979; CANDIA, FRANCO, 1995; CARASEK, 1996; CINCOTTO, 1995 apud DE MILITO, 2001; COSTA, 2007; GASPAR *et al.*, 2007 apud RUDUIT, 2009; IOPPI, PRUDÊNCIO, IRIYAMA, 1995; IOPPI, 1995; PEREIRA *et al.*, 2011; LAMANA, DELFIN, BULLEMORE, 1970; LAWRENCE, PAGE, 1994; SARAIVA, BAUER, GONÇALVES, 2010; SELMO, 1989; VIEIRA *et al.*, 2005 apud MOURA, 2007).

Poder-se-ia fazer uma analogia às argamassas de cimento e propor para o sistema com base em gesso a adoção dos mesmos fatores e aspectos físicos-mecânicos que interferem em sistema de revestimento de argamassas. Contudo, o ligante aéreo gesso e o ligante hidráulico cimento apresentam composição e propriedades distintas, de modo que há necessidade de novos estudos com foco em gesso, podendo-se realizar investigações em nível microscópico e macroscópico.

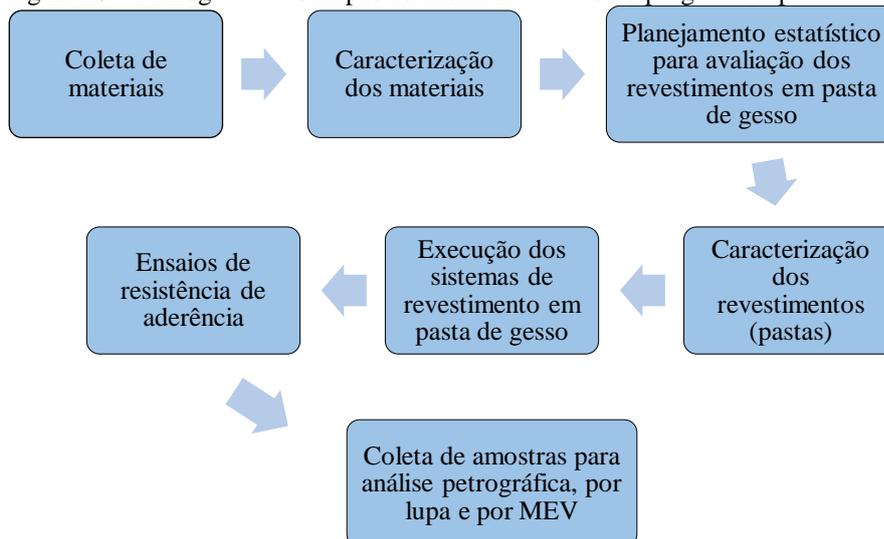
A partir desses parâmetros levantados na bibliografia, o presente estudo visa investigar o mecanismo de aderência de revestimentos de pasta de gesso e identificar seus fatores intervenientes.

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O desenvolvimento desta pesquisa ocorreu nos Laboratórios de Ensaio de Materiais e Técnicas construtivas (LABMATEC), no Laboratório de Ensaio Mecânicos (LEM) e no Laboratório Multiusuário de Microscopia da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) do Campus Juazeiro – BA, no Laboratório Núcleo de Estudos Geoquímicos e de Isótopos Estáveis (NEGLABISE) e Geolab – Soluções em geologia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Campus Recife – PE, no Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e no Laboratório de Materiais para Produtos de Construção do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em São Paulo – SP.

O programa experimental foi estruturado de modo a investigar e compreender o mecanismo de aderência de revestimentos em pasta de gesso, bem como seus fatores intervenientes. Para isso, foram executados diferentes sistemas de revestimentos em pastas de gesso, com variações de tipos de substratos, de relações água/gesso dos revestimentos e de tratamento de base (pré-umedecimento e chapisco). As etapas de desenvolvimento do programa experimental estão descritas sucintamente no fluxograma da Figura 20.

Figura 20 – Fluxograma das etapas do desenvolvimento do programa experimental



Fonte: Autora, 2021.

#### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS E CRITÉRIOS PARA ESCOLHA

Foram selecionados materiais para compor a pasta de gesso para revestimento, a base/substrato dos sistemas e para tratamento da base (camada de ancoragem). Os materiais utilizados nesta sequência são apresentados a seguir.

O material utilizado para o revestimento foi:

- Gesso em pó para revestimento sem aditivo (hemi-hidrato), oriundo do Polo Gesseiro do Araripe (Araripina-PE), região que concentra maior produção deste material no país (84,3%, segundo Sindusgesso (2017)). A empresa onde foi coletado o material está no mercado há mais de 21 anos e produz por meio de forno rotativo intermitente.

As bases escolhidas para estudo foram de blocos cerâmicos, de blocos de concreto e concreto liso, uma vez que são as mais utilizadas nas obras brasileiras. Para isso, foram utilizados:

- Bloco cerâmico de vedação com 8 furos e dimensões de 9 x 19 x 19 cm, coletado em fábrica na região de Dormentes-PE;
- Bloco de concreto de vedação 14 x 19 x 39 cm, coletado em fábrica em Petrolina-PE;
- Placas de concreto liso, produzidas em laboratório com cimento CP II Z, pó de pedra e areia lavada (essencialmente quartzosa).

Para o chapisco de gesso, foi utilizado o gesso cola, coletado do Polo Gesseiro do Araripe (Araripina-PE), da mesma empresa onde foi coletado o gesso para o revestimento. Para o chapisco convencional de cimento, foram empregados cimento CP II Z e areia lavada.

### 3.1.1 Caracterização do gesso em pó

O gesso em pó para revestimento foi caracterizado nos estados anidro, fresco e endurecido. Os resultados da caracterização do gesso para revestimento no estado anidro e os respectivos requisitos da NBR 13207 (2017a) estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Caracterização do gesso no estado anidro (continua)

<b>Característica/propriedade analisada</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>	<b>Requisito da norma – NBR 13207 (2017a)</b>
Análise granulométrica	NBR 12127 (2019a)	(99,01 ± 0,12) % passante na peneira de 0,21 mm	≥ 90% passante na peneira de 0,21 mm
Massa unitária	NBR 12127 (2019a)	(0,68 ± 0,01) g/cm <sup>3</sup>	≥ 0,6 g/cm <sup>3</sup>
Massa específica	NM 23 (2000)	(2,67 ± 0,01) g/cm <sup>3</sup>	-
Água livre	NBR 12130 (2017b)	0,39 %	Máx. 1,3 %
Água de cristalização	NBR 12130 (2017b)	5,47 %	4,2 a 6,2 %

Tabela 8 – Caracterização do gesso no estado anidro (conclusão)

<b>Característica/propriedade analisada</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>	<b>Requisito da norma – NBR 13207 (2017a)</b>
Composição química	Fluorescência de raio X (FRX) - espectrômetro de fluorescência de raios-X Rigaku modelo ZSX Primus II, equipado com tubo de Rh e 7 cristais analisadores	Tabela 9	Mínimo de 38% de CaO; Mínimo de 53% de SO <sub>3</sub> .
	NBR 12130 (2017b)	Tabela 10	
Composição mineralógica	Cálculo estequiométrico realizado de acordo com a ASTM C 471 M - 20ae1 a partir dos resultados da análise química pela NBR 12130 (2017b)	Tabela 11	Mínimo de 38% de CaO; Mínimo de 53% de SO <sub>3</sub> .
	Difração de raio X	Figura 21	
Perda de massa em função da temperatura e temperaturas nas quais ocorrem as reações	Termogravimetria (TGA) e análise térmica diferencial (DTG)	Figura 22	-

Fonte: Autora, 2021.

Tabela 9 – Resultados da análises químicas semi-quantitativas (FRX) do gesso em pó (% em massa)

<b>Constituintes</b>	<b>%</b>	<b>Constituintes</b>	<b>%</b>
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,04	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	nd
<b>MgO</b>	0,14	<b>MnO</b>	0,01
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,14	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3t</sub></b>	0,05
<b>SiO<sub>2</sub></b>	0,38	<b>CuO</b>	nd
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	nd	<b>NiO</b>	nd
<b>SO<sub>3</sub></b>	55,6	<b>ZnO</b>	nd
<b>Cl</b>	nd	<b>Rb<sub>2</sub>O</b>	nd
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,02	<b>SrO</b>	0,10
<b>CaO</b>	40,0	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	nd
<b>TiO<sub>2</sub></b>	nd	<b>BaO</b>	nd
<b>Perda ao fogo</b>		3,58	
<b>Total</b>		100,00	

nd – não detectado

Fonte: Autora, 2021.

Tabela 10 – Resultados da análise química do gesso para revestimento obtidos por via úmida de acordo com a NBR 12130 (2017b)

<b>Determinações</b>	<b>%</b>
Insolúveis em ácido clorídrico (RI+SiO <sub>2</sub> )	0,58
Sesquióxidos (R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,48
Óxido de cálcio (CaO)	38,7
Óxido de magnésio (MgO)	1,57
Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )	54,9
Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )	0,65

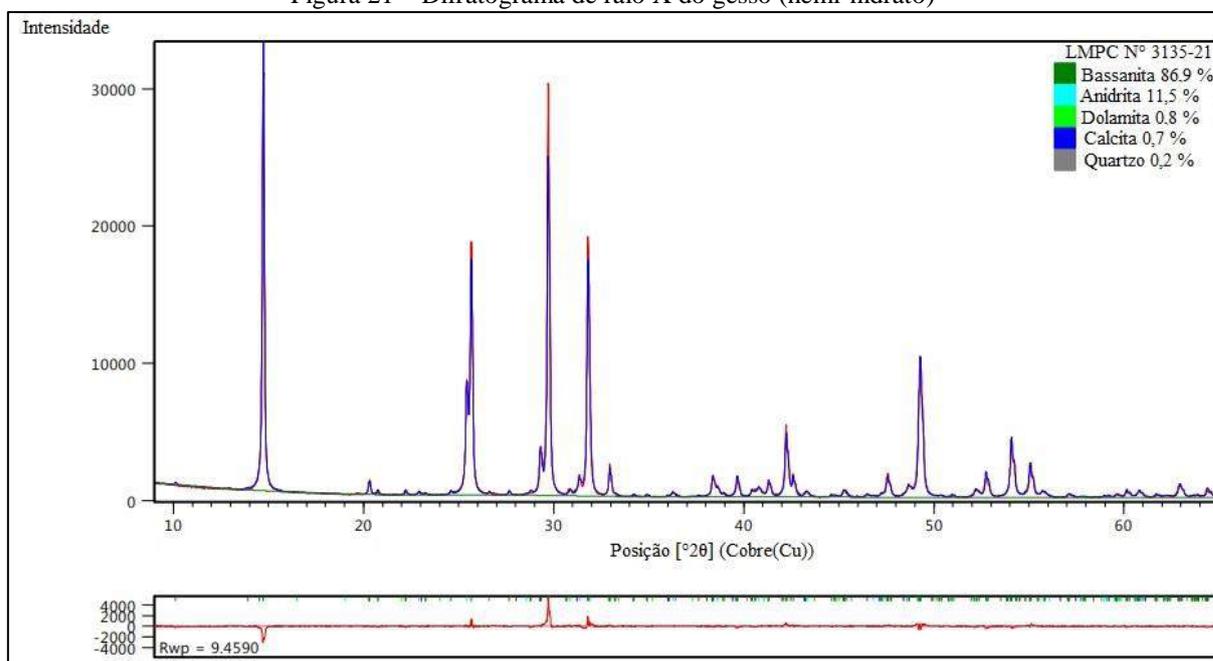
Fonte: Autora, 2021.

Tabela 11 – Composição mineral obtida por cálculo estequiométrico de acordo com a ASTM C 471M – 20ae1 a partir dos resultados da análise química pela NBR 12130 (2017b), apresentada na Tabela 10

<b>Parâmetros calculados</b>	<b>%</b>
Bassanita (CaSO <sub>4</sub> . 0,5 H <sub>2</sub> O)	88,2
Anidrita (CaSO <sub>4</sub> )	10,6
Carbonato de Cálcio (CaCO <sub>3</sub> ) potencial	0,44
Carbonato de Magnésio (MgCO <sub>3</sub> ) potencial	0,45
Impurezas (RI+SiO <sub>2</sub> +R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,16

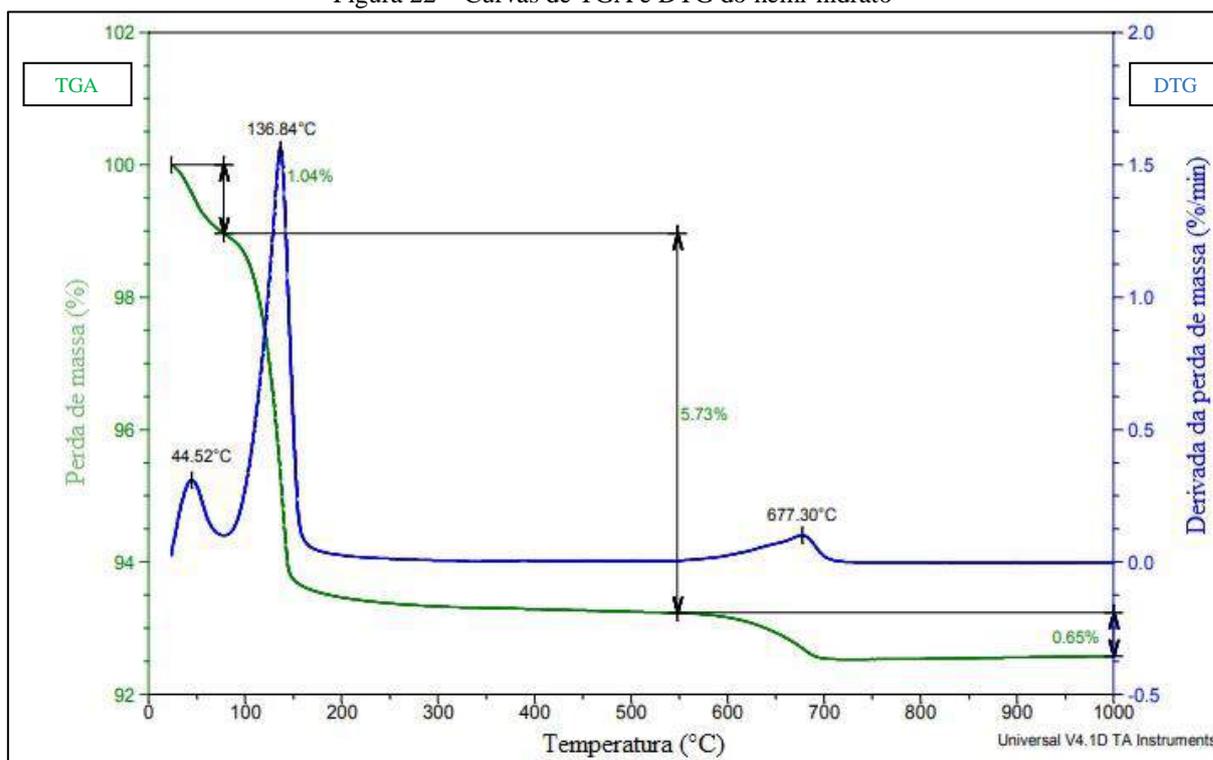
Fonte: Autora, 2021.

Figura 21 – Difratoograma de raio X do gesso (hemi-hidrato)



Fonte: Autora, 2021.

Figura 22 – Curvas de TGA e DTG do hemi-hidrato



Fonte: Autora, 2021.

A opção por fazer a análise química semi-qualitativa por FRX (Tabela 9) se deve a intenção de obter dados de constituintes menores para favorecer a interpretação de dados de difração de raios X. Os resultados de caracterização química (Tabela 10) obtidos na análise química por via úmida (ou via clássica) representam os resultados de referência em relação à composição química do material.

A partir do difratograma da Figura 21, verifica-se que os maiores picos, relativos à bassanita, são encontrados em  $2\theta = 14,67^\circ$ ,  $25,72^\circ$ ,  $29,79^\circ$  e  $31,79^\circ$ , correspondentes aos planos (200), (220), (400) e (204), respectivamente, além de picos de menor intensidade atribuídos à bassanita em  $2\theta = 42,24^\circ$ ,  $49,18^\circ$ ,  $52,92^\circ$ ,  $54,09^\circ$  e  $55,11^\circ$  relativos aos planos (422), (424), (207), (604) e (620), respectivamente (NASCIMENTO, 2014; SILVA, 2010; BARBOSA, FERRAZ, SANTOS, 2014). Os padrões difratométricos e de estruturas utilizadas para a análise quantitativa das fases minerais analisadas estão apresentados no Apêndice A.

A bassanita e anidrita, mostradas na Tabela 11 e na Figura 21, individualizam condições de hidratação distintas dos compostos ligados a eliminação de moléculas de água combinada no processo de calcinação da gipsita para obtenção do gesso. A depender da temperatura, pode gerar 3 tipos diferentes de anidrita (III, II e I).

A curva de TGA é a que mostra a perda de massa do material quando submetido a uma elevação programada de temperatura, e a curva de DTG favorece a identificação dos eventos térmicos que ocorrem por meio da derivada da curva de TGA. A necessidade da DTG acontece, pois, pode ocorrer um evento que não haja perda de massa, como alteração do polimorfo.

A partir da Figura 22, pode-se verificar três eventos pela curva de DTG, que totalizam uma perda de massa de 7,42 %:

1. Entre 23 e 79 °C, houve perda de água livre. É uma reação endotérmica;
2. Entre 79 e 250 °C, houve perda de água de cristalização. É uma reação endotérmica, onde o hemi-hidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ) perde 0,5 molécula de água, transformando-se em anidrita III ( $\text{CaSO}_4$ ). A perda de massa dos gessos, próxima de 6%, ocorre segundo a reação química ( $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + \text{calor} \rightarrow \text{CaSO}_4 + 0,5\text{H}_2\text{O}$ ), onde a meia molécula de água representa 6,2% da massa. Como o material não é composto somente por hemi-hidrato, o valor obtido não é exato;
3. Entre 548 e 750°C, ocorreu a reação endotérmica de descarbonatação de fases carbonáticas, com perda de massa de 0,65 %.

A partir dos dados da Figuras 3.2 e 3.3 e Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4, pode-se observar que o gesso empregado é de elevada pureza, pois apresenta somente 2,05 % de carbonatos e impurezas.

Verifica-se que o gesso para revestimento em pó está em conformidade com a normatização brasileira, de acordo com os dados da Tabela 8. Na Tabela 12, são apresentados os resultados da avaliação do gesso para revestimento no estado fresco.

Tabela 12 – Caracterização do gesso no estado fresco

<b>Característica/propriedade analisada</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>	<b>Requisito da norma – NBR 13207 (2017a)</b>
Consistência normal	NBR 12128 (2019b)	0,48	-
Tempo de pega – Início	NBR 12128 (2019b)	15,18 min	≥ 10 min
Tempo de pega – Fim	NBR 12128 (2019b)	19,18 min	≥ 35 min

Fonte: Autora, 2021.

O tempo de início de pega é atendido em relação ao requisito da NBR 13207 (2017a), que deve ser maior ou igual a 10 minutos. Contudo, o tempo de final de pega não é atendido. Ferreira (2017), em sua pesquisa, coletou 10 amostras de gesso para revestimento do Polo Gesseiro do

Araripe. A pesquisadora concluiu que embora o material da região seja de boa qualidade, nenhum fabricante atendeu o tempo de fim de pega para pastas dosadas com a consistência normal.

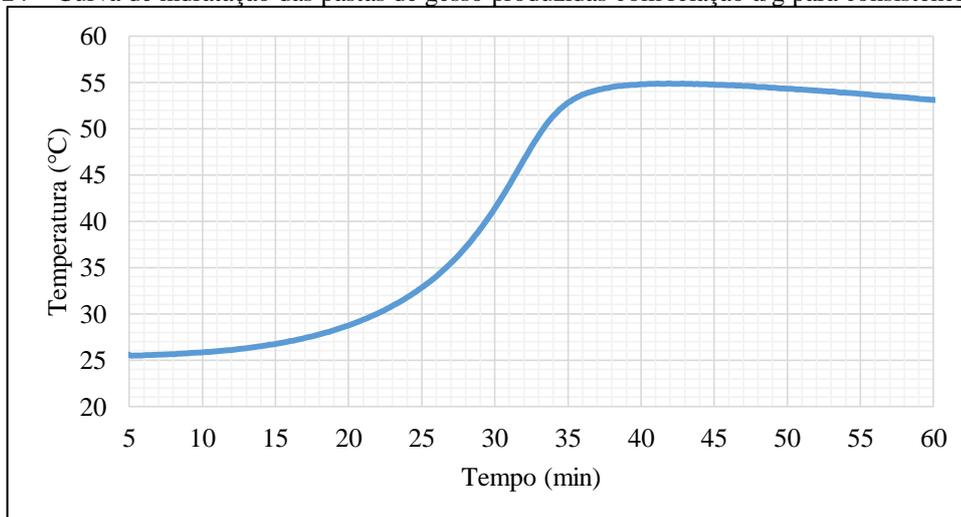
Para acompanhamento a evolução da hidratação das pastas, foi feito ensaio calorimétrico. O ensaio de calorimetria pseudoadiabática seguiu a metodologia de Pinheiro (2011). Para isso, utilizou-se um equipamento em condições pseudoadiabática, composto por um recipiente de isopor com uma tampa. Um copo plástico descartável é colocado dentro do recipiente de isopor com a pasta fresca. Entre o espaço destinado ao copo e a parede interna do recipiente foi colocado um material de baixa condutividade térmica (espuma de poliuretano). Um sensor de temperatura conectado a um *data logger* ligado a um computador, que coleta dados de temperatura em intervalos de tempo determinados e envia para o computador, conforme apresentado na Figura 23, é empregado. A curva de hidratação da pasta de gesso produzida com relação a/g para consistência normal por calorimetria pseudoadiabática está apresentada na Figura 24.

Figura 23 – Aparelhagem para ensaio de calorimetria pseudoadiabática



Fonte: Autora, 2021.

Figura 24 – Curva de hidratação das pastas de gesso produzidas com relação a/g para consistência normal



Fonte: Autora, 2021.

Foi realizada a calorimetria isotérmica *in loco* para determinação da evolução da hidratação do gesso desde as primeiras idades das pastas com relação água/gesso (a/g) dada pela consistência normal. Esta técnica de determinação de fluxo de calor é a mais adequada de acordo com Tydlitát, Tesárek e Cerný (2008), pois possui maior sensibilidade a mudanças instantâneas na geração de energia térmica por reações de hidratação, o processo de calibração é mais direto e confiável e o calor de hidratação medido é melhor definido do ponto de vista físico. Para isso, adicionou-se a água diretamente na ampola dentro do calorímetro de condução isotérmico<sup>14</sup> com o gesso em pó. Além disso, com intuito também de observar se a agitação externa teria influência no resultado de calor, realizou-se um exploratório com a mistura feita fora do calorímetro com 1400 rpm de velocidade de agitação. As condições de ensaio para leitura de dados foram 23°C e 5h.

As curvas de fluxo de calor de hidratação estão apresentadas na Figura 25. O primeiro pico das curvas é referente ao fenômeno exotérmico de dissolução do gesso no líquido imediatamente após o contato e a agitação. Em sequência, o fluxo de calor diminui para zero durante um certo tempo, quando nenhuma reação é observada, que corresponde ao período de indução. Nesta fase, os hidratos se estabilizam química e fisicamente, organizando-se em um arranjo cristalino (MAGNAN, 1973 apud JOHN, CINCOTTO, 2007). De acordo com Boustingorry *et al.* (2005), suspeita-se que a nucleação de gesso ocorre neste estágio da reação. Os autores explicam que a curva em forma de sino representa a reação de hidratação em si, onde o ramo ascendente corresponde ao crescimento simultâneo dos cristais de gesso e à dissolução do gesso, o pico corresponde ao esgotamento total do gesso e o crescimento de cristal de gesso ocorre durante a última parte da curva. A partir da Figura 25, verifica-se que a agitação de 1400 rpm nas pastas de gesso produz uma hidratação mais rápida do material. Trata-se do efeito da energia de mistura que favorece desaglomeração das partículas de gesso na suspensão aquosa.

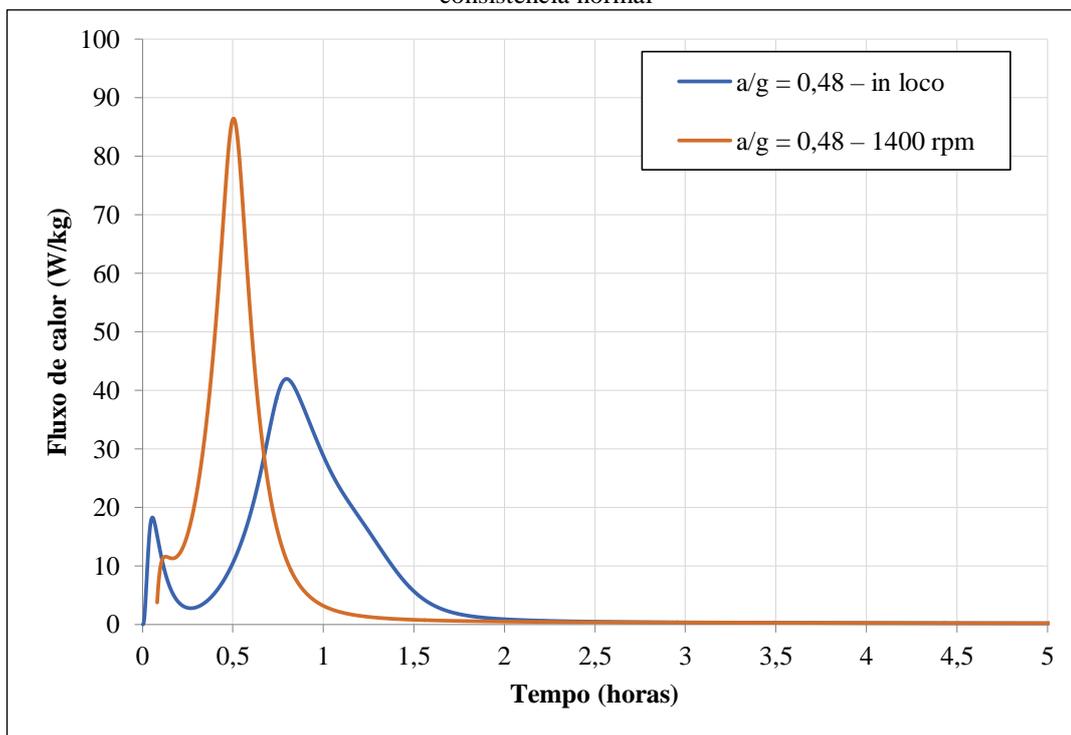
A Figura 26 mostra o calor acumulado para o gesso apresentado na Figura 25. Os resultados obtidos na pasta de gesso são normalizados e expressos em função da massa de gesso na pasta. Observa-se que ambos os resultados, apresentam um comportamento típico de curvas de calorimetria já descritas por outros autores na literatura (BOUSTINGORRY *et al.*, 2005; TYDLITÁT, TESÁREK, CERNÝ, 2008). O calor acumulado total (J/g) é semelhante para as

---

<sup>14</sup> Empregou-se um calorímetro de condução isotérmico marca TA Instruments, modelo Thermometric TAM AIR, configurado isotermicamente na temperatura de 23,00°C

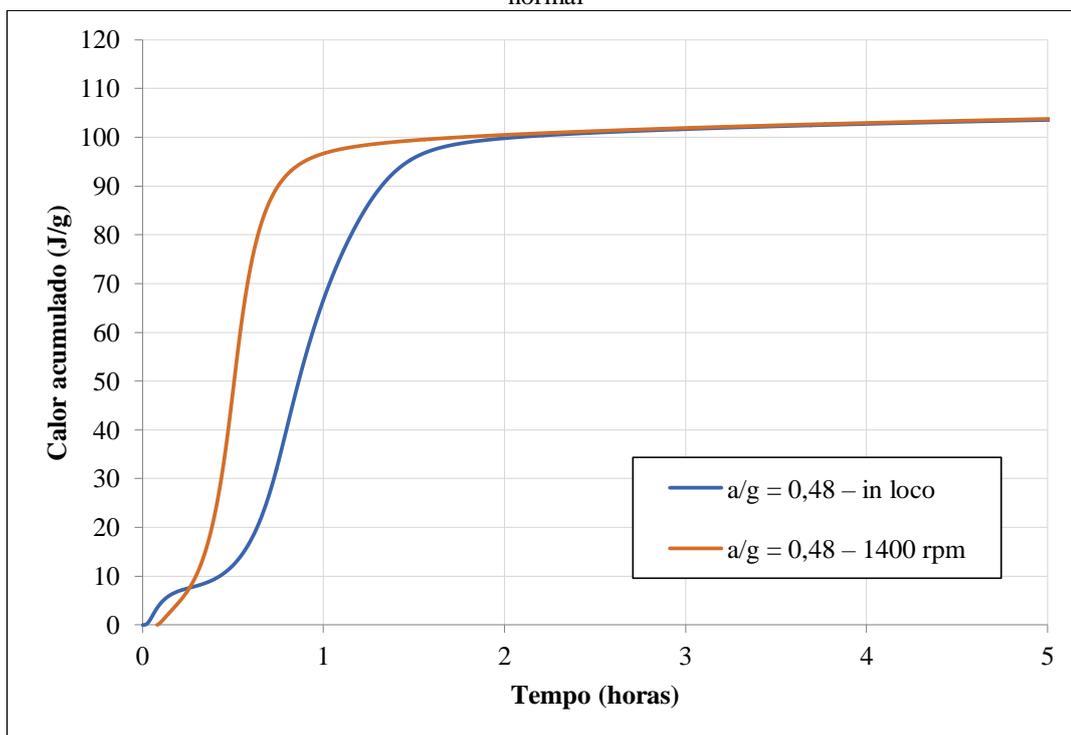
duas pastas de gesso independente do processo de agitação, sendo de, aproximadamente, 103 J/g.

Figura 25 – Curvas de fluxo de calor de hidratação de pastas de gessos produzidas com relação a/g para consistência normal



Fonte: Autora, 2021.

Figura 26 – Curva de calor de hidratação acumulado pasta de gesso produzida com relação a/g de consistência normal



Fonte: Autora, 2021.

Na Tabela 13, os resultados da caracterização do gesso no estado endurecido são apresentados.

Tabela 13 – Caracterização do gesso no estado endurecido

<b>Característica/propriedade analisada</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>	<b>Requisito da norma – NBR 13207 (2017a)</b>
Resistência à compressão	NBR 12129 (2017f)	(17,80 ± 0,49) N/mm <sup>2</sup>	-
Dureza	NBR 12129 (2019c)	(58,44 ± 4,72) N/mm <sup>2</sup>	≥ 20 N/mm <sup>2</sup>

Fonte: Autora, 2021.

No estado endurecido, a NBR 13207 (2017a) requisita somente a dureza de, no mínimo 20 N/mm<sup>2</sup>, que foi atendida no gesso para revestimento utilizado. Os resultados individuais obtidos nos ensaios de caracterização do gesso são apresentados no Apêndice A.

### 3.1.2 Caracterização dos substratos

Os substratos bloco cerâmico, bloco de concreto e concreto liso foram caracterizados. Na Tabela 14, está apresentada a caracterização do substrato de bloco cerâmico.

Tabela 14 – Caracterização dos blocos cerâmicos de vedação

<b>Característica/propriedade analisada</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>	<b>Requisito da norma – NBR 15270-1 (2017d)</b>
Dimensões	NBR 15270-2 (2017c)	Largura (87,10 ± 0,53) mm Altura (184,94 ± 1,23) mm Comprimento (188,04 ± 1,40) mm	Tolerância (largura, altura e comprimento): individual ± 5 mm e, na média, ± 3 mm
Absorção total	NBR 15270-2 (2017c)	(8,42 ± 0,68) % <sup>1</sup>	8 a 25%
Índice de absorção inicial (IRA)	NBR 15270-2 (2017c)	(7,90 ± 1,16) (g/194 <sup>2</sup> )/min	-
Resistência à compressão	NBR 15270-2 (2017c)	(2,32 ± 0,58) MPa	≥ 1,5 MPa
Composição química	Fluorescência de raio X	Tabela 15	-

<sup>1</sup> Valor médio de absorção total do lote. 13 blocos foram selecionados para caracterização. Os blocos utilizados no estudo apresentam absorção total de 8 a 10 %; fora desta faixa foram eliminados.

Fonte: Autora, 2021.

Todos os blocos cerâmicos foram caracterizados quanto ao IRA e absorção total para, além de delimitar uma faixa de utilização e reduzir possíveis variabilidades no estudo, verificar uma possível ligação entre esta característica e a resistência de aderência. Os blocos utilizados se encontravam numa faixa de absorção total entre 8 e 10%.

Com o objetivo de verificar influência da absorção total de uma maior faixa de absorção (6 a 11%) e do coeficiente de absorção por capilaridade na resistência de aderência à tração, foram escolhidos 12 blocos cerâmicos com 3 faixas de absorção total distintas: aproximadamente 6%, 8% e 10%, sendo 4 blocos para cada faixa, conforme Tabela 16. Para estes blocos, o coeficiente de absorção por capilaridade foi determinado pela ASTM C 1794-19 – *Standard test methods for determination of the water absorption coefficient by partial immersion* (Método de ensaio para determinação do coeficiente de absorção por imersão parcial). O gráfico da absorção de água ao longo do tempo para os substratos cerâmicos está apresentado no Apêndice B. Um bloco de cada faixa de absorção foi selecionado para caracterização da porosidade através de porosimetria por intrusão de mercúrio, conforme podem ser visualizados os resultados na Tabela 17 e na Figura 27.

Tabela 15 – Resultados da análise química semi-quantitativas (FRX) do bloco cerâmico (% em massa)

<b>Constituintes</b>	<b>%</b>	<b>Constituintes</b>	<b>%</b>
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	1,00	<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,04
<b>MgO</b>	2,02	<b>MnO</b>	0,21
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19,8	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3t</sub></b>	13,0
<b>SiO<sub>2</sub></b>	56,9	<b>CuO</b>	0,02
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,10	<b>NiO</b>	0,02
<b>SO<sub>3</sub></b>	0,20	<b>ZnO</b>	0,01
<b>Cl</b>	nd	<b>Rb<sub>2</sub>O</b>	0,01
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,51	<b>SrO</b>	0,01
<b>CaO</b>	3,09	<b>ZrO<sub>2</sub></b>	0,02
<b>TiO<sub>2</sub></b>	1,29	<b>BaO</b>	0,06
<b>P.F</b>			0,63
<b>Total</b>			100,00

nd – não detectado

Fonte: Autora, 2021.

Tabela 16 – Caracterização dos blocos cerâmicos com três faixas de absorção distintas

<b>Nomenclatura do bloco cerâmico</b>	<b>Absorção total (%)</b>	<b>Coefficiente de absorção de água médio (kg/(m<sup>2</sup>·√s))</b>
93 L2	6,56	0,01845
108 L1	6,28	
128 L1	6,55	
138 L1	6,16	
92 L1	8,35	0,01882
100 L2	8,38	
102 L2	8,16	
115 L2	8,29	
90 L1	10,48	0,01902
96 L1	10,28	
101 L1	10,36	
130 L1	10,13	

Nota: L1 ou L2 da nomenclatura é a indicação da face/lado do bloco.

Fonte: Autora, 2021.

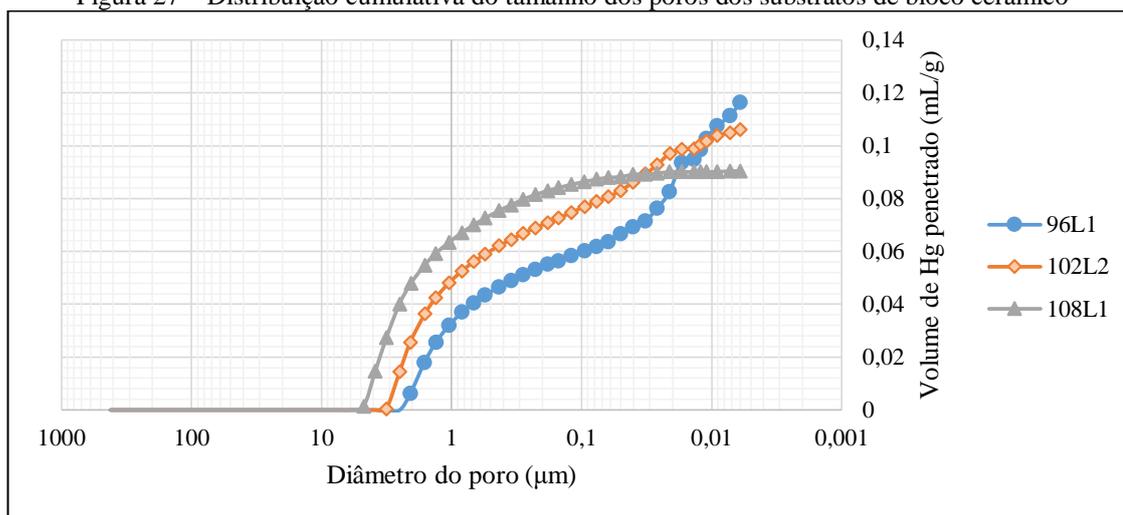
Tabela 17 – Caracterização da porosidade dos blocos cerâmicos através de porosimetria por intrusão de mercúrio

<b>Diâmetro dos poros</b>	<b>Distribuição dos tamanhos dos poros (em %)</b>		
	<b>Amostra de bloco cerâmico</b>		
	<b>96L1</b>	<b>102L2</b>	<b>108L1</b>
> 50 µm	0,0%	0%	0%
10 – 50 µm	0,0%	0%	0%
5 – 10 µm	0,0%	0%	0%
1 – 5 µm	27,4%	45%	70%
0,1 – 1 µm	22,6%	25%	24%
0,05 – 0,1 µm	7,1%	8%	3%
0,01 – 0,05 µm	31,1%	18%	2%
< 0,01 µm	11,8%	4%	0%
<b>Diâmetro médio dos poros (µm)</b>	<b>1,00</b>	<b>1,55</b>	<b>2,26</b>
<b>Área específica (m<sup>2</sup>/g)</b>	<b>15,070</b>	<b>6,054</b>	<b>0,870</b>
<b>Porosidade (%)</b>	<b>25,5666</b>	<b>23,984</b>	<b>21,4257</b>

Nota: L da nomenclatura é a indicação da face/lado do bloco.

Fonte: Autora, 2021.

Figura 27 – Distribuição cumulativa do tamanho dos poros dos substratos de bloco cerâmico



Fonte: Autora, 2021.

De modo semelhante, o substrato de bloco de concreto foi caracterizado conforme resultados e metodologias apresentadas na Tabela 18.

Tabela 18 – Caracterização dos blocos de concreto de vedação

<b>Característica/ propriedade analisada</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados</b>	<b>Requisito da norma – NBR 6136 (2016)</b>
Dimensões	NBR 12118 (2013a)	Largura (139,28 ±0,47) mm Altura (192,41 ±2,09) mm Comprimento (390,88 ± 0,79 mm)	Tolerância para largura de ± 2 mm e para altura e comprimento ± 3 mm
Absorção total	NBR 12118 (2013a)	(7,27 ± 0,48) %	≤ 11 % - Individual ≤ 10 % - média
Índice de absorção inicial (IRA)	NBR 15270- 2 (2017c)	(42,86 ± 15,96) (g/194 <sup>2</sup> )/min	-
Resistência à compressão	NBR 12118 (2013a)	(4,13 ± 1,59) MPa	≥ 3,0 Mpa

Fonte: Autora, 2021.

Todos os blocos de concreto foram caracterizados quanto ao IRA e absorção total para, além de delimitar uma faixa de utilização e reduzir possíveis variabilidades no estudo, verificar uma possível ligação entre esta característica e a resistência de aderência. Os blocos utilizados se encontram numa faixa de absorção total entre 7 e 10%.

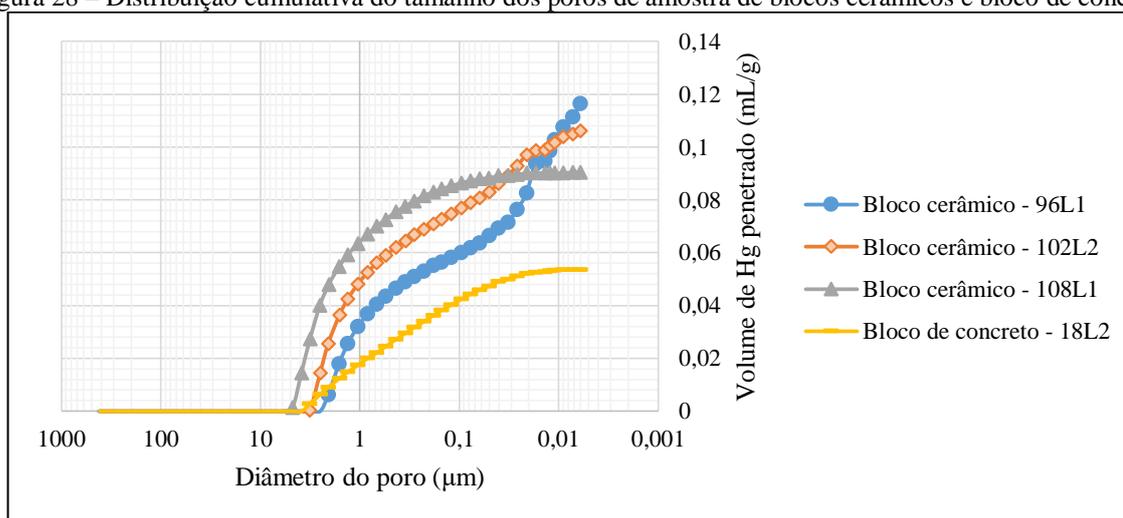
Um bloco de concreto (nomeado de 18L2) foi selecionado para caracterização da porosidade através de porosimetria por intrusão de mercúrio, conforme podem ser visualizados os resultados na Tabela 19 e na Figura 28.

Tabela 19 – Caracterização da porosidade de amostra de bloco de concreto através de porosimetria por intrusão de mercúrio

Diâmetro dos poros	Distribuição dos tamanhos dos poros (em %)
	Bloco de concreto – 18 L2
> 50 $\mu\text{m}$	0%
10 – 50 $\mu\text{m}$	0%
5 – 10 $\mu\text{m}$	0%
1 – 5 $\mu\text{m}$	33%
0,1 – 1 $\mu\text{m}$	43%
0,05 – 0,1 $\mu\text{m}$	13%
0,01 – 0,05 $\mu\text{m}$	11%
< 0,01 $\mu\text{m}$	0%
Diâmetro médio dos poros ( $\mu\text{m}$ )	1,29
Área específica ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	1,708
Porosidade (%)	12,1245

Fonte: Autora, 2021.

Figura 28 – Distribuição cumulativa do tamanho dos poros de amostra de blocos cerâmicos e bloco de concreto



Fonte: Autora, 2021.

As placas de concreto liso foram moldadas em tamanho suficiente para realização do ensaio de resistência de aderência à tração, aproximadamente 49 cm x 68 cm. Foram dosados dois concretos com distintas resistências à compressão, compostos pelos mesmos materiais, com o objetivo de verificar a influência da resistência da base na resistência de aderência. Os resultados da caracterização das placas de concreto liso estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Caracterização das placas de concreto

<b>Característica/pro priedade analisada</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Resultados – Concreto 1</b>	<b>Resultados – Concreto 2</b>
Traço (cimento:areia: pó de brita:a/c em massa)		1:2,0:3,0:0,95	1:1,5:2,0:0,72
Dimensões	-	Valores aproximados: Largura: 490 mm Espessura: 25 mm Comprimento: 680 mm	
Absorção total	NBR 12118 (2013)	(11,20±0,67) %	(10,95 ±0,16) %
Índice de absorção inicial (IRA)	NBR 15270-2 (2017c)	(9,65±1,04) (g/194 <sup>2</sup> )/min	(9,04±0,66) (g/194 <sup>2</sup> )/min
Resistência à compressão do concreto	NBR 5739 (2018)	(8,140±1,332) MPa	(17,114±1,049) MPa

Fonte: Autora, 2021.

Todas as placas de concreto foram caracterizadas quanto ao IRA e absorção total. Os resultados individuais obtidos nos ensaios de caracterização dos blocos cerâmicos, blocos de concreto e concreto liso são apresentados nos Apêndices B, C e D, respectivamente.

### 3.1.3 Traços empregados

Um dos fatores a ser avaliado é a influência do teor de água (relação a/g) nos revestimentos em pasta de gesso. De acordo com Karni e Karni (1995), estequiometricamente, a relação água/gesso de 0,17 é a necessária para se conseguir a hidratação completa do gesso. Segundo Hernández-Olivares *et al.* (1999) e Silva (2010), no processo de mistura, a relação água/gesso pode variar entre 0,6 e 0,8, ou até mais. Se a relação for inferior a 0,6, há dificuldades com a trabalhabilidade. Para razões maiores que 0,6, tem-se um aumento da porosidade do produto final endurecido, perdendo resistência mecânica.

Observa-se que a quantidade de água utilizada em obra, em relação à massa de gesso, está na faixa de 0,60 kg/l a 0,80 kg/l (DE MILITO, 2001). Para Quinalia (2005) e Yazigi (2006), a dosagem é de 36 a 40 l de água para cada saco de 40 kg de gesso. Essa quantidade representa

valores de relação água gesso entre 0,9 e 1,0. A NBR 13867 (1997) recomenda utilizar a relação água/gesso indicada pelo fabricante.

Diante de tais informações, optou-se por adotar um valor mínimo sugerido na literatura de 0,6 e um usual de 0,8 de relação a/g e um valor maior. Assim, foram estudadas pastas de gesso puras com relação a/g de 0,6, 0,8 e 1,0. Os traços estudados são apresentados no Tabela 21.

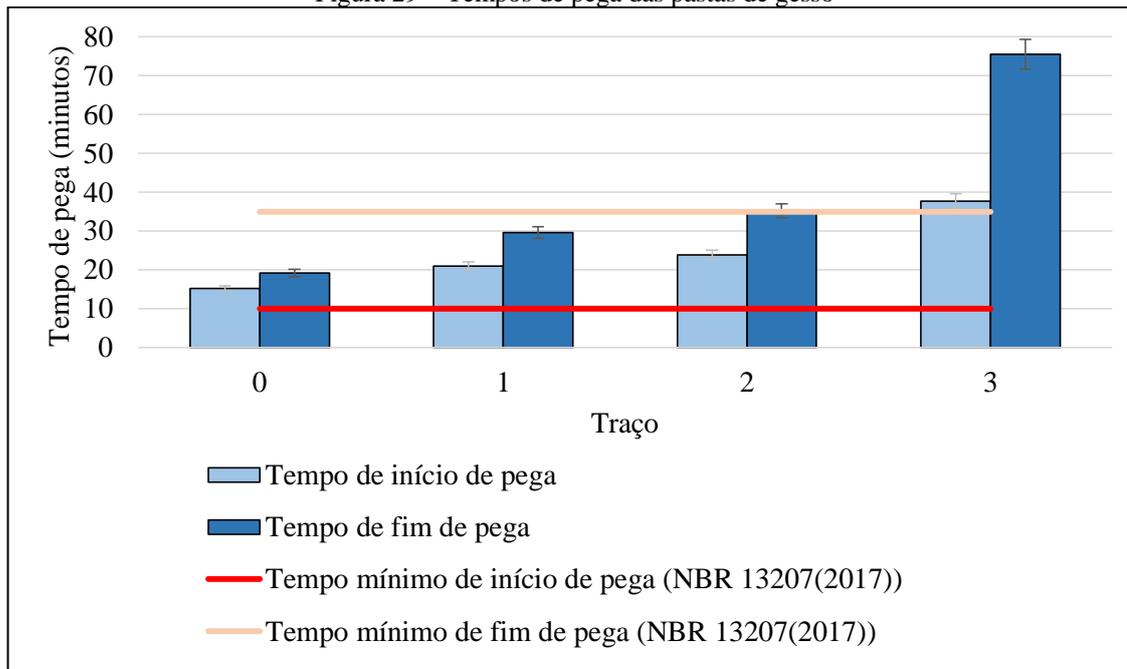
Tabela 21 – Composição dos traços de pasta de gesso

Traço/Nomenclatura	Teor de água das pastas
Traço 0	a/g = 0,48 (consistência normal)
Traço 1	a/g = 0,6
Traço 2	a/g = 0,8
Traço 3	a/g = 1,0

Fonte: Autora, 2021.

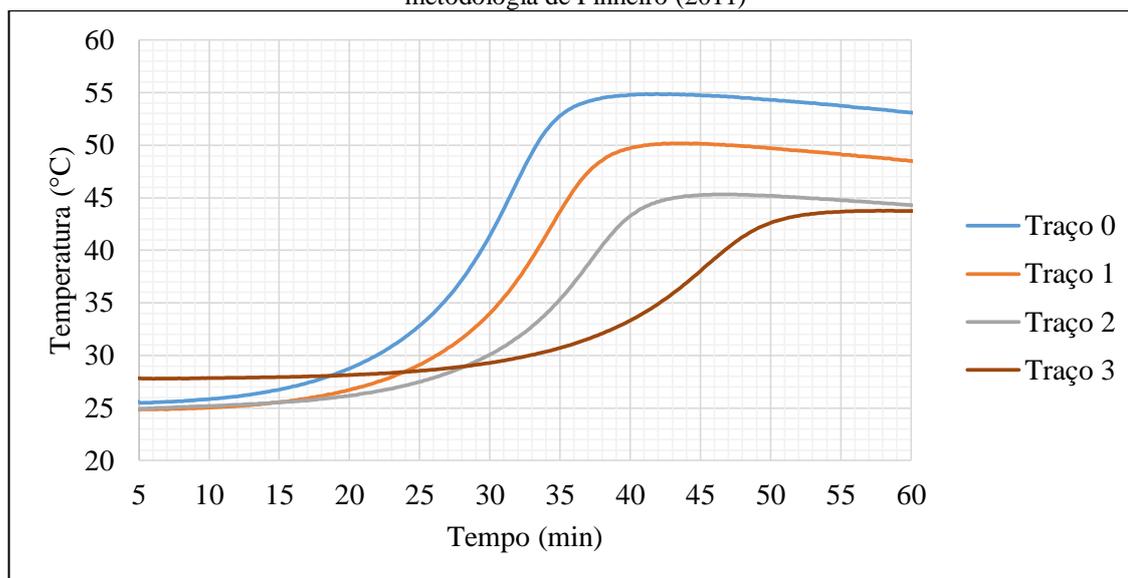
As pastas de gesso escolhidas para os revestimentos foram caracterizadas no estado fresco quanto ao tempo de pega e evolução da hidratação, com resultados indicados nas Figuras 29 e 30.

Figura 29 – Tempos de pega das pastas de gesso



Fonte: Autora, 2021.

Figura 30 – Curvas de hidratação das pastas de gesso obtidas por calorimetria pseudoadiabática de acordo com metodologia de Pinheiro (2011)



Fonte: Autora, 2021.

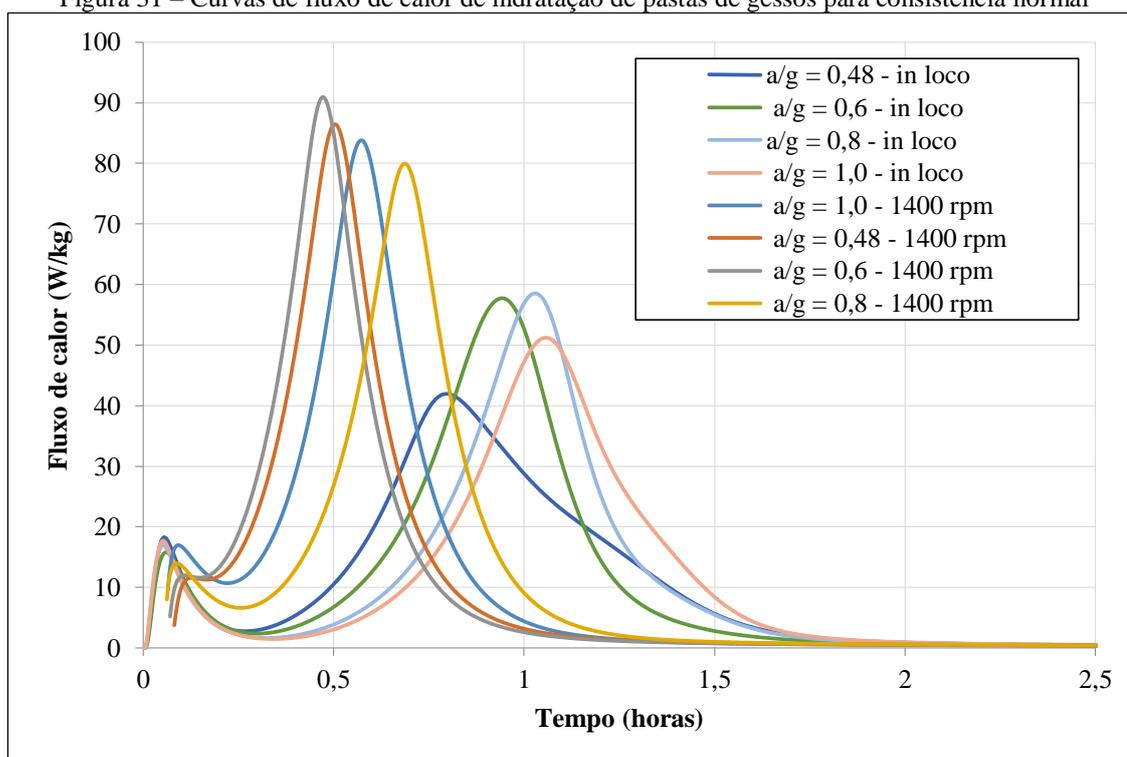
Quanto às propriedades no estado fresco das pastas de gesso, todas as pastas apresentam tempo de início de pega superior a 10 minutos, que é mínimo requisitado pela NBR 13207 (2017a) para pastas de consistência normal. Contudo, somente a pasta com relação a/g de 0,6 (traço 1) não atinge o tempo de fim de pega mínimo requisitado de 35 minutos. Verifica-se que à medida que se aumenta a relação a/g, tem-se um aumento dos tempos de pega.

Percebe-se a grande influência da relação a/g na cinética da reação de hidratação, portanto, no tempo de pega do gesso (NOLHIER, 1986 apud ANTUNES; JOHN, 2000). Mais água significa um tempo de endurecimento mais longo para obter uma massa rígida (KARNI, KARNI, 1995).

As temperaturas máximas atingidas pelas pastas no final do período de hidratação foram similares às observadas por Ferreira (2017): para a pasta de consistência normal (traço 0), em torno de 55°C e para pasta de relação água/gesso de 0,8, aproximadamente, 45°C. Verificou-se uma redução da temperatura máxima quando se tem um aumento do teor de água. Logo, quanto maior a relação água/gesso, tem-se uma menor velocidade da reação, maior o tempo de pega, menor a liberação de calor na hidratação (NOLHIER, 1986 apud ANTUNES, JOHN, 2000; KARNI; KARNI, 1995; BARDELLA, 2011).

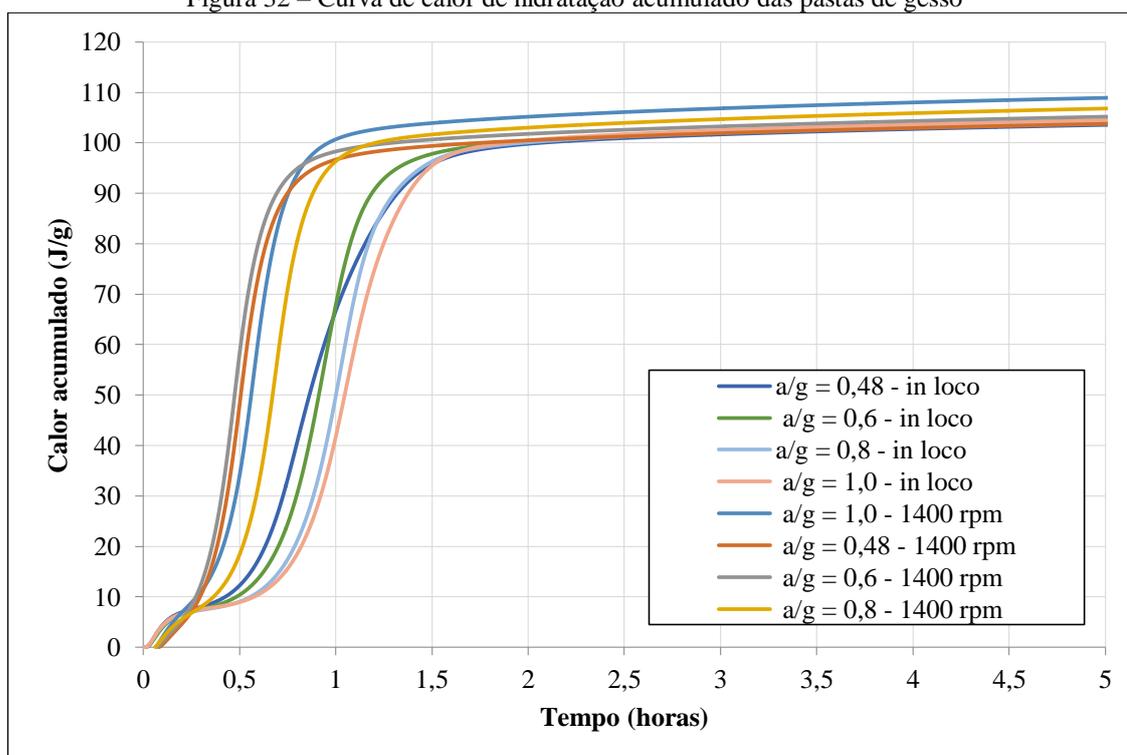
Os traços considerados no estudo foram analisados por meio de calorimetria isotérmica, com agitação de até 120 rpm *in loco* (por até 3 min) e de até 1400 rpm (por até 2 min) antes de colocar no calorímetro. As curvas de fluxo de calor e de calor de hidratação das pastas de gesso estão apresentadas nas Figuras 31 e 32, respectivamente.

Figura 31 – Curvas de fluxo de calor de hidratação de pastas de gessos para consistência normal



Fonte: Autora, 2021.

Figura 32 – Curva de calor de hidratação acumulado das pastas de gesso



Fonte: Autora, 2021.

Pela Figura 31, verifica-se no comportamento dessas pastas o que foi registrado por Pinheiro (2008), com a quantidade maior de água de amassamento maior é o intervalo de tempo

necessário para saturar a solução. Em decorrência, tem-se ampliação do período de indução e retardo no início da precipitação dos cristais de dihidrato com aumento no tempo de pega. O fluxo de calor até uma hora é maior para agitação de 1400 rpm que para *in loco*. De acordo com Magnan (1973 apud JOHN e CINCOTTO, 2007), o processo com maior energia de mistura pode acelerar a hidratação das pastas de gesso por facilitar a dispersão do pó na água de amassamento. Segundo Antunes e John (2000), isto leva a formação de mais núcleos de cristalização.

A partir da Figura 32, até 5 horas de hidratação, o calor acumulado total (J/g) é semelhante para cada pasta (103,6 a 108,9 J/g), contudo é observada uma leve tendência de aumento com uma maior relação a/g e com o aumento da agitação, provavelmente, pela maior dispersão do gesso na água. No Apêndice E, são apresentados os dados de calor de hidratação acumulados em função do tempo.

No estado endurecido foram avaliadas as propriedades: dureza, resistências à compressão e resistência à tração na flexão, sendo esses resultados apresentados nas Figuras 33, 34 e 35, respectivamente.

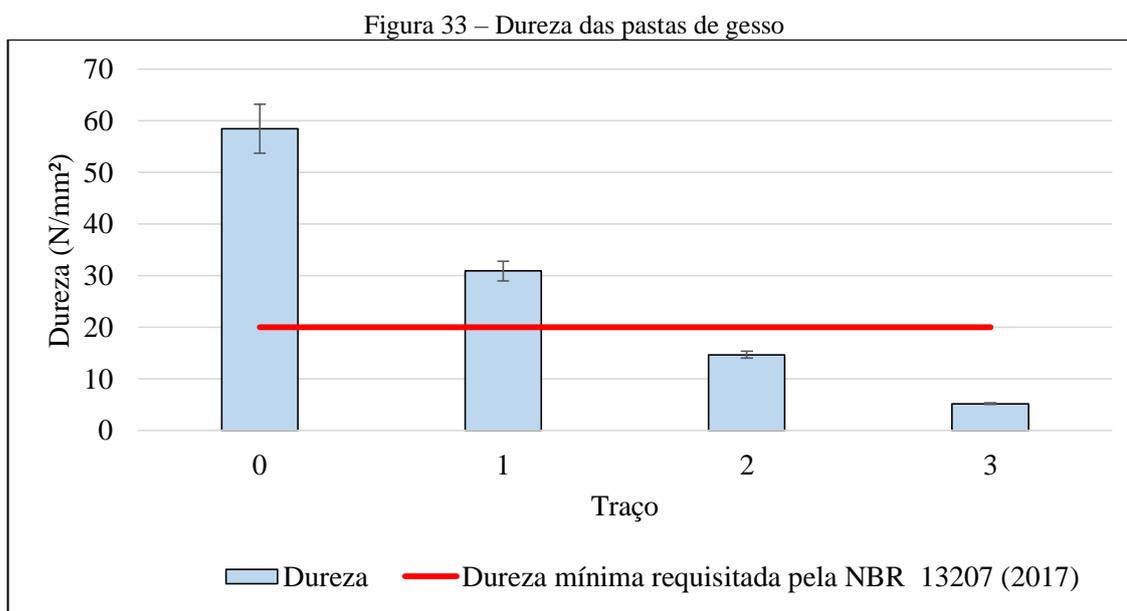
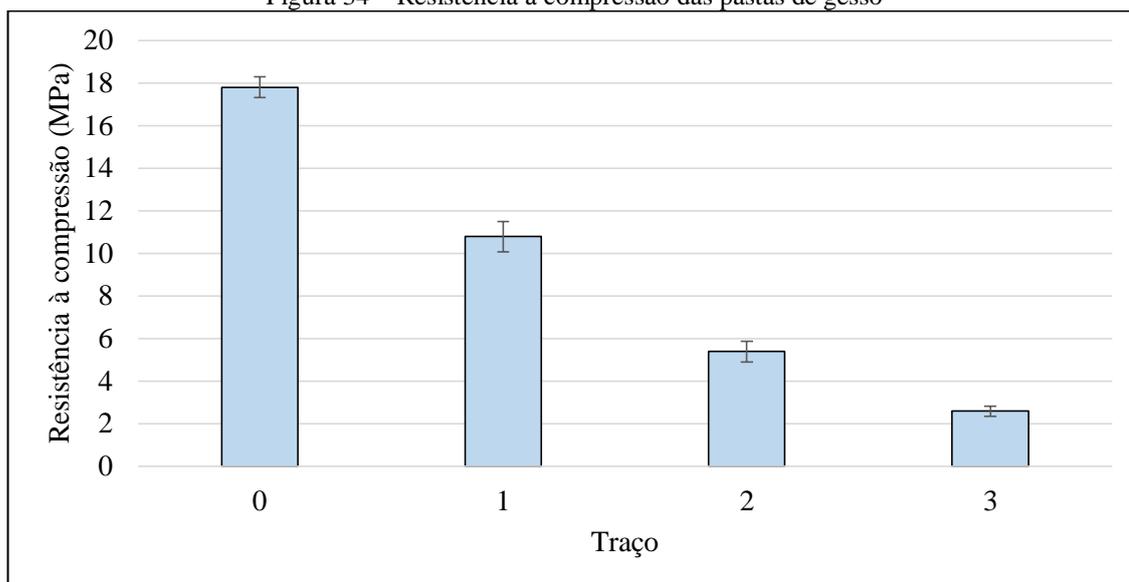
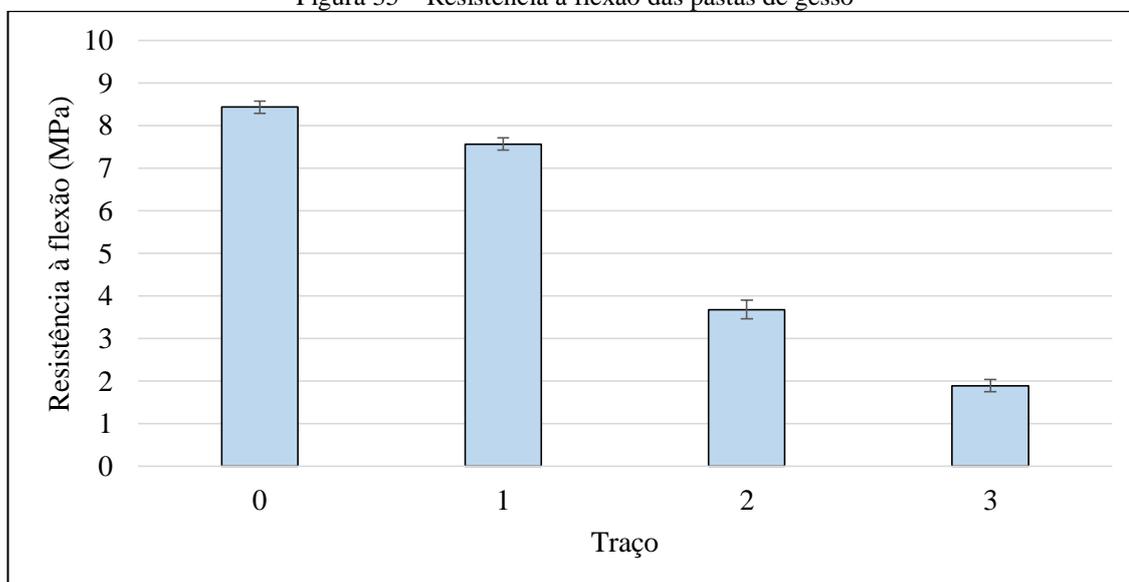


Figura 34 – Resistência à compressão das pastas de gesso



Fonte: Autora, 2021.

Figura 35 – Resistência à flexão das pastas de gesso



Fonte: Autora, 2021.

Dentre as propriedades no estado endurecido que foram avaliadas, somente a dureza é que apresenta requisito mínimo na NBR 13207 (2017a): o gesso para construção civil deve apresentar dureza maior ou igual a 20 N/mm<sup>2</sup> para relação a/g dada pela consistência normal, que foi obtido. À medida que se aumentou a relação água/gesso, houve perda de propriedades mecânicas (dureza, resistência à compressão e tração na flexão), por aumento da porosidade do gesso endurecido. Esta verificação está em conformidade com a informações contidas na literatura (BARDELLA, 2011; FERREIRA, 2017; KARNI, KARNI, 1995).

Os resultados individuais obtidos nos ensaios de caracterização das pastas de gesso são apresentados no Apêndice E.

### 3.2 PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO PARA AVALIAÇÃO DOS REVESTIMENTOS EM PASTA DE GESSO

Para estudo do mecanismo de aderência e dos seus fatores influentes em sistemas de revestimento em pasta de gesso, fez-se um planejamento fatorial completo, com base na metodologia apresentada por Barros Neto, Scarminio e Bruns (2001). Para execução dos sistemas, definiu-se as variáveis a serem estudadas e alguns fatores foram fixados para evitar que esses exerçam influência sobre as variáveis de estudo.

Os revestimentos em pasta de gesso foram avaliados como produtos acabados por meio da resistência de aderência à tração, seguindo a metodologia da NBR 13528 – 1 (2019e): Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – Parte 1: Requisitos gerais e da NBR 13528 – 2 (2019f): Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – Parte 2: aderência ao substrato, que é a norma indicada para a avaliação da resistência de aderência à tração de revestimento de argamassas inorgânicas.

Além disso, os sistemas de revestimento em pasta de gesso foram avaliados por lupa estereoscópica, por MEV com EDS e análise petrográfica. A seguir, são descritas as variáveis estudadas, as condições fixas, a metodologia de execução e de avaliação dos revestimentos.

#### 3.2.1 Variáveis estudadas

As variáveis desse estudo estão apresentadas no Quadro 6.

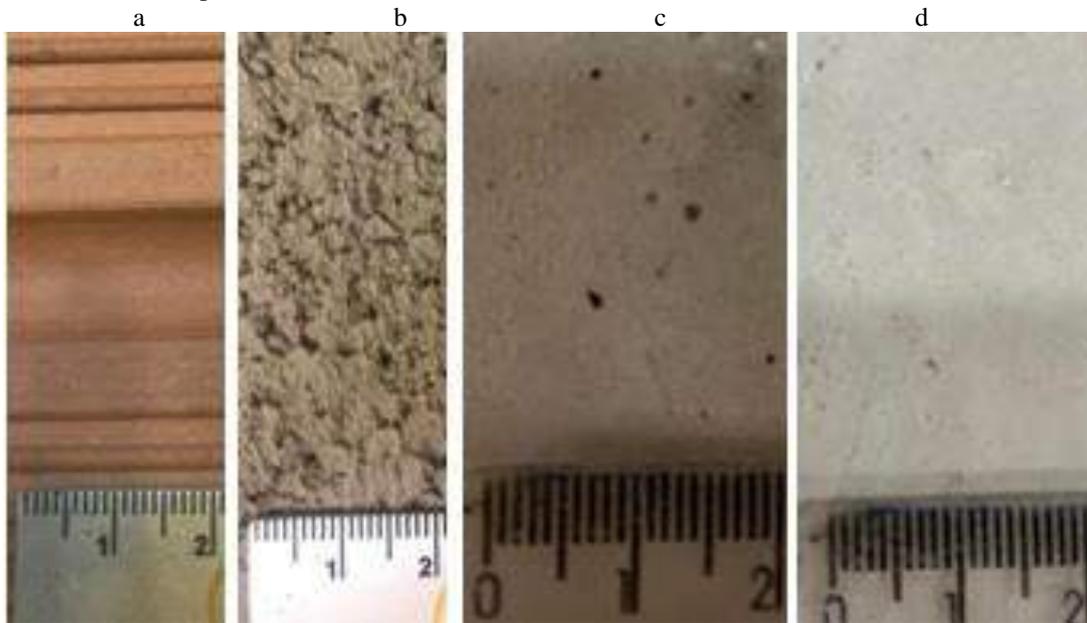
Quadro 6 – Quadro de variáveis de estudo dos sistemas em revestimento em pasta de gesso

<b>Tipo de base</b>	<b>Relação a/g</b>	<b>Pré-tratamento da base</b>
✓ bloco cerâmico;	✓ 0,6	✓ sem pré-umedecimento e com pré-
✓ bloco de concreto;	✓ 0,8	umedecimento de 0,5% ou 1%;
✓ placa de concreto – resistência 1;	✓ 1,0	✓ com ou sem chapisco convencional;
✓ placa de concreto – resistência 2.		✓ com ou sem chapisco de gesso cola.

Fonte: Autora, 2021.

Quanto aos tipos de bases (bloco cerâmico, bloco de concreto e concreto liso), foram utilizadas as comumente empregadas, considerando suas diferenças de rugosidade, absorção e composição, para verificação do nível de influência desses fatores na aderência. As bases empregadas estão apresentadas na Figura 36.

Figura 36 – Textura superficial das bases: a) bloco cerâmico; b) bloco de concreto; c) concreto 1; d) concreto 2



Fonte: Autora, 2021.

Com o objetivo de se verificar a influência do teor de água na resistência de aderência, foram executados revestimentos com os Traços 1 a 3 (relações a/g de 0,6, 0,8 e 1,0), conforme descrito no tópico 3.1.3. Para as bases de concreto liso, somente foi empregado o traço 2 (a/g de 0,8), por ser o traço mais usual na construção civil.

O pré-umedecimento da base, antes de aplicação do revestimento, é recomendado pela NBR 13867 (1997). Logo, esse fator foi considerado: sem e com pré-umedecimento. O quantitativo do pré-umedecimento não é apresentado em norma. Definiu-se 1% de umidade, em relação à massa do substrato seca à temperatura ambiente. Este valor foi determinado em laboratório observando o limite de absorção superficial da base, após ser umedecida com um pulverizador manual, aplicado à 30 cm da base na posição horizontal. Após isso, foi definido o teor de 0,5% como um valor intermediário, visando verificar qual o comportamento em função da alteração do teor de umidade da base com a resistência de aderência. Esta avaliação ocorreu somente nas paredes de bloco cerâmico e bloco de concreto.

Estudos preliminares em bases de concreto liso de resistência de, aproximadamente, 30 MPa foram realizados e verificou-se grande deficiência da aderência, impossibilitando a realização

de ensaios de resistência à tração devido ao deslocamento do revestimento. Devido a isso, foi realizada uma investigação quanto à utilização de chapisco, para melhorar ancoragem do revestimento à base. Para isso, fixou-se a relação água/gesso nestas bases em 0,8.

De acordo com a NBR 13867 (1997), quando a superfície a revestir for pouco absorvente, deve-se fazer aplicação de argamassa de chapisco ou emulsões adesivas. Determinou-se a utilização de dois tipos de camada de ancoragem: chapisco convencional de cimento (cimento e areia lavada) e chapisco de gesso cola aplicado com rolo de textura.

O chapisco convencional de cimento foi utilizado por ser um dos tipos de chapiscos mais utilizados na construção civil, inclusive em obras de paredes de concreto com a aplicação seguida de revestimento em pasta de gesso. Contudo, é importante salientar que produtos cimentícios na presença de sulfatos, que podem ser oriundos do gesso hidratado, podem levar a formação de etringita<sup>15</sup>. Foi utilizado chapisco na proporção 1:3 de cimento:areia.

Como alternativa de camada de ancoragem aos produtos com base cimentícia, tem-se o chapisco de gesso cola, que pode ser aplicado com rolo de textura. Neste caso, foi utilizado o rolo conhecido popularmente como cabelo de anjo. A dosagem do gesso cola foi de 100 gramas de gesso cola para 65 ml de água, conforme orientação do fabricante.

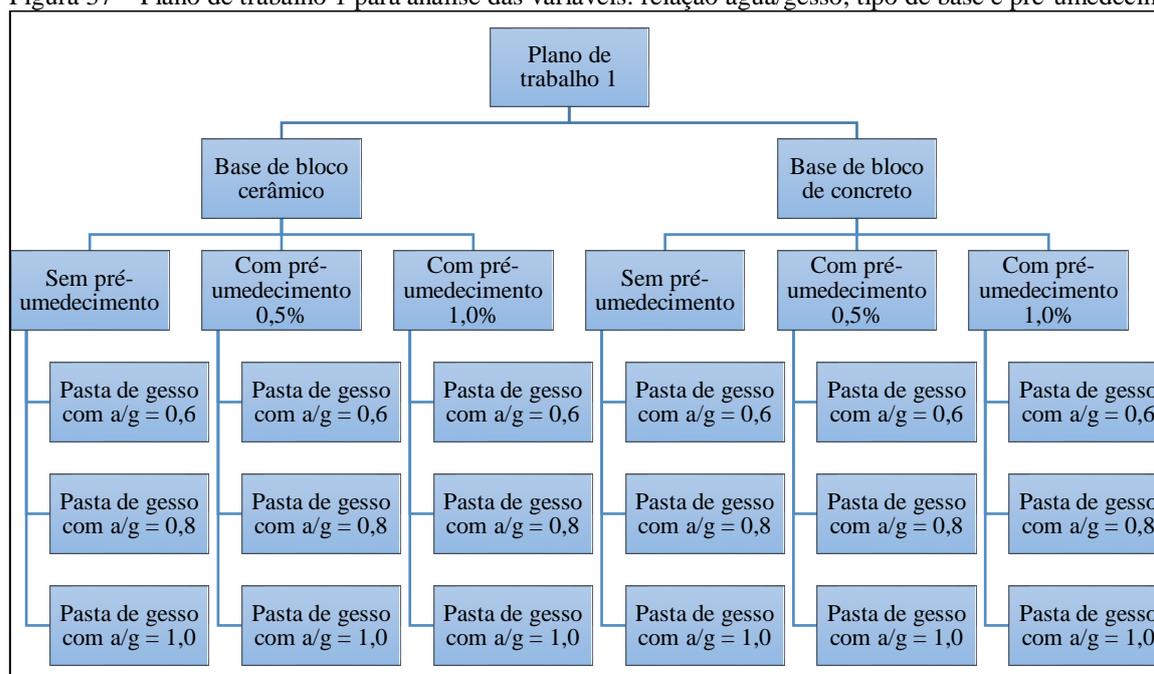
Assim, o estudo contemplou o projeto conforme fluxogramas apresentados nas Figura 37 e 38 para análise dos fatores: relação água/gesso, tipo de base e tratamentos da base, considerando os traços 1 a 3. Os planos de trabalho 1 e 2 podem ser comparados de modo a complementar a análise da influência do tipo de base na resistência de aderência.

Com o objetivo de verificar influência da absorção total de uma maior faixa de absorção (6 a 11%) e do coeficiente de absorção por capilaridade, executou-se uma miniparede de 9 blocos cerâmicos com 3 faixas de absorção total distintas: aproximadamente 6%, 8% e 10%, sendo 3 blocos para cada faixa, conforme caracterização apresentada nas Tabelas 3.9 e 3.10 e Figura 27.

---

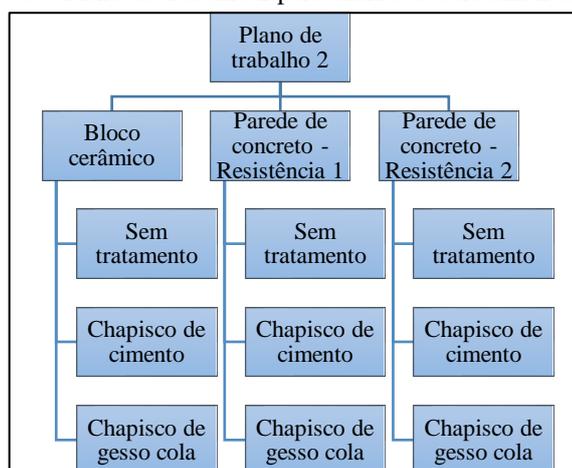
<sup>15</sup> A etringita é o trissulfoaluminato de cálcio. Quando formada nas primeiras horas da hidratação, é chamada de etringita primária. Quando a etringita é formada na pasta endurecida é denominada de etringita tardia. A sua expansão é heterogênea e em um concreto endurecido pode causar fissuras e lascamentos, ou seja, a sua deterioração progressiva. Sua formação está associada a conversão do monossulfoaluminato novamente em etringita, em função do ingresso de íons  $SO_4^{-2}$  no meio cimentício (AGUIAR, SELMO, 2004), sendo esses íons do cimento (MELO, 2010). Ataques por sulfatos externos podem ocorrer, formando produtos expansivos, semelhantes à etringita (NORDINE, 2008 apud MELO, 2010).

Figura 37 – Plano de trabalho 1 para análise das variáveis: relação água/gesso, tipo de base e pré-umedecimento



Fonte: Autora, 2021.

Figura 38 – Plano de trabalho 2 para análise dos tratamentos de base



Fonte: Autora, 2021.

### 3.2.2 Condições fixas

Alguns fatores foram fixados a fim evitar que esses exerçam influência sobre as variáveis de estudo. Foram eles:

- *Preparação dos revestimentos, processo de aplicação e mão de obra:* O revestimento foi executado sempre pelo auxiliar de técnico do LABMATEC, que apresenta prática em execução de revestimentos de gesso, com intuito de se minimizar possíveis

interferências do fator mão de obra, que venham a comprometer o desempenho do revestimento executado.

- *Espessura*: foi fixada a espessura em 1 cm, pois, segundo Paes (2004), este fator influencia no transporte de água para as bases e, conseqüentemente, na aderência;
- *Tempo de secagem*: acerca do tempo de endurecimento do gesso, há grandes discussões na literatura, conforme relatado por Ferreira (2017).

Segundo Hincapie et. al. (1996 apud AKKARI, SOUZA, 2005), o intervalo de tempo de secagem varia de 7 a 14 dias. Para Accorsi (2015), 7 dias são suficientes. Almeida (2014) afirma que 7 dias não são suficientes, pois, em seus estudos, detectou umidade significativa no revestimento.

Esse tempo não é especificado em normas da ABNT voltadas para ensaios de gesso. A NBR 13867 (1997) ressalta apenas que se deve apenas aguardar a completa secagem do revestimento. Escolheu-se a idade de 28 dias, de forma a garantir maior confiabilidade e condições de realização dos ensaios, considerando também, que essa não é uma das variáveis de estudo.

Durante tempo de secagem, os revestimentos permaneceram em ambiente de laboratório com temperatura de  $(28 \pm 1,0)$  °C e umidade de  $(59 \pm 3)$  %.

- *Determinação da resistência de aderência à tração*: seguiu a metodologia NBR 13528-2 (2019f). Cada etapa de todos os revestimentos foi executada por um só profissional.

### **3.2.3 Procedimentos**

A seguir, são descritos os procedimentos de execução dos revestimentos, de coleta de amostras e de realização de ensaios.

#### **3.2.3.1 Execução dos substratos**

Para uma melhor condição de prumo, de manuseio e para eliminar a influência da ergonomia do aplicador, verificada por Gonçalves (2004), foram executadas mini alvenarias na horizontal de 6 blocos cerâmicos para o caso de substrato cerâmico (Figura 39), e de 3 blocos de concreto. Para o substrato de concreto foram moldadas placas, conforme já descrito em item anterior.

Figura 39 – Alvenarias executadas sobre o piso



Fonte: Autora, 2021.

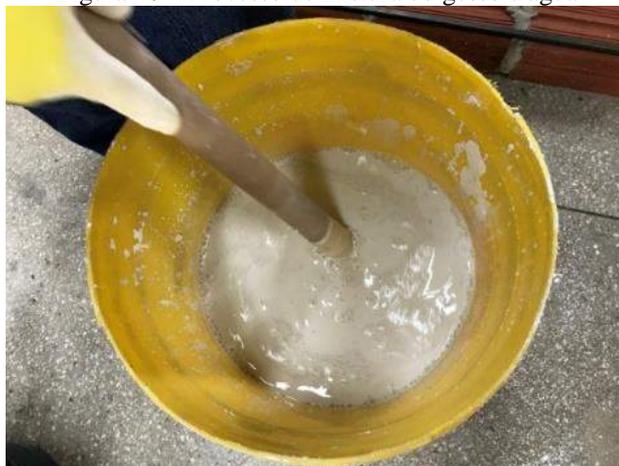
As bases com chapisco convencional de cimento ou de gesso cola receberam a camada e foram reservadas por, no mínimo, 3 dias para posteriormente receber o revestimento.

### 3.2.3.2 Dosagem das misturas

A mistura do material foi também realizada pelo mesmo auxiliar de técnico do LABMATEC, com intuito de se minimizar possíveis interferências que venham a comprometer as respostas que se deseja obter com o estudo.

A água e gesso foram pesados. Após isso, despejava-se o material seco (gesso em pó) na água e efetuava-se a mistura com auxílio de um bastão por cerca de 1 minuto (Figura 40). Em seguida, a pasta ficava em repouso até que o aplicador identificasse a consistência ideal para aplicação.

Figura 40 – Processo de mistura do gesso e água



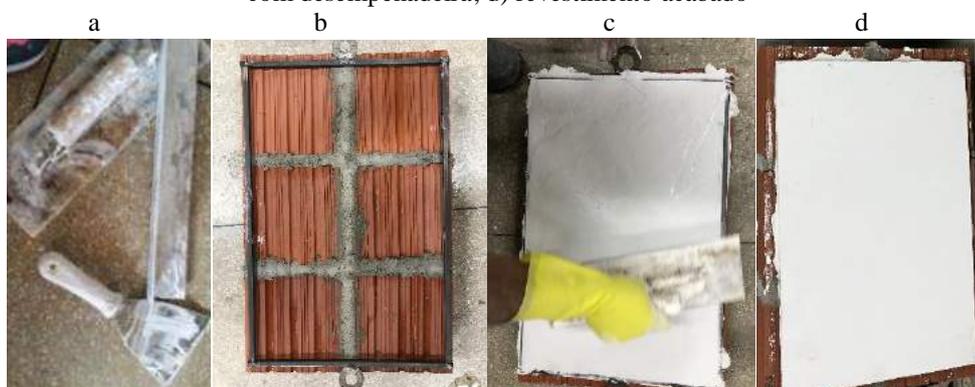
Fonte: Autora, 2021.

### 3.2.3.3 Execução dos revestimentos

Os revestimentos foram executados no padrão sarrafeado, por ter melhor acabamento e controle da espessura. Para todos os revestimentos, utilizou-se um gabarito de aço de espessura de 1 cm para garantir a mesma espessura em todos os sistemas de revestimento.

O revestimento foi executado sobre o piso para eliminação da influência da ergonomia do aplicador. Bases pré-umedecidas foram colocadas na posição horizontal em uma balança e pré-umedecidas com o pulverizador até obtenção de valor de 0,5% ou 1% da massa seca à temperatura ambiente, a depender do caso. Em seguida, as miniparedes foram deitadas sobre o piso e colocadas sobre elas o gabarito para garantia de uniformidade da espessura. Com auxílio de régua de alumínio, desempenadeira e espátula, as pastas foram aplicadas, conforme sequência da Figura 41.

Figura 41 – Ferramentas e sequência de execução do revestimento: a) régua de alumínio, desempenadeira e espátula; b) base e gabarito para garantir espessura uniforme do revestimento; c) retirada de excesso de pasta com desempenadeira; d) revestimento acabado



Fonte: Autora, 2021.

### 3.2.3.4 Processo de secagem

Após a finalização do revestimento, as alvenarias foram postas na posição vertical durante os 28 dias para completa secagem em ambiente de laboratório, com temperatura e umidade de  $(28 \pm 1,0) ^\circ\text{C}$  e  $(59 \pm 3) \%$ , respectivamente, e sem incidência de luz solar, conforme apresentado na Figura 42.

Figura 42 – Secagem dos revestimentos durante os 28 dias na posição vertical



Fonte: Autora, 2021.

### 3.2.3.5 Avaliação da resistência de aderência à tração

A metodologia de avaliação da resistência de aderência à tração seguiu a NBR 13528-2 (2019f), com adaptações necessárias à avaliação de pasta de gesso, já descritas anteriormente por Ferreira (2017) e apresentadas a seguir:

1. Realizou-se 12 cortes circulares a seco em cada alvenaria com uma serra copo espaçados entre si e da borda, no mínimo, 5 cm, que foram estendidos até o substrato de 1 a 5 mm (Figura 43). Nenhum corte foi realizado nas juntas.

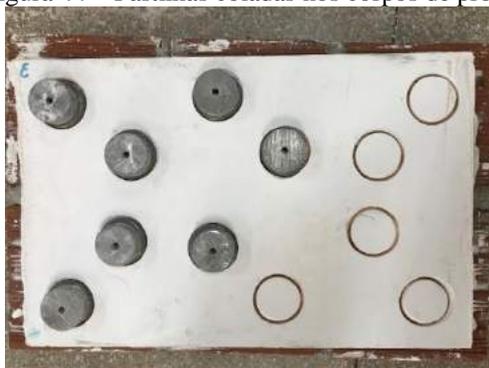
Figura 43 – Cortes circulares a seco no revestimento de gesso para colagem das pastilhas



Fonte: Autora, 2021.

2. Fez-se a limpeza da superfície para retirada do material pulverulento para colagem de pastilhas nos corpos de prova (cortes circulares), como mostra a Figura 44. A miniparede foi colocada em uma base de cerca de 1 m de altura para melhorar a ergonomia do operador. Foi utilizada uma massa plástica, colocando uma pequena porção sobre as pastilhas metálicas e, em seguida, colando-a no revestimento para aderência das pastilhas. Aguardava-se cerca de 2h para secagem da cola e execução da próxima etapa do ensaio.

Figura 44 – Pastilhas coladas nos corpos de prova



Fonte: Autora, 2021.

- Em seguida, pode-se acoplar o dinamômetro nas pastilhas (Figura 45) para aplicação de uma força de tração até o destacamento do corpo de prova. O valor da carga de ruptura é registrado para cálculo de resistência de aderência à tração. A forma de ruptura de todos os corpos de prova dos revestimentos também é anotada;

Figura 45 – Dinamômetro acoplado na pastilha para aplicação de uma força de tração



Fonte: Autora, 2021.

- A média de dois diâmetros dos corpos de prova é obtida com um paquímetro e registrada para cálculo da resistência de aderência à tração. A resistência de aderência à tração é dada pela Equação 6.

$$Ra = \frac{F}{A} \quad [6]$$

Onde:

Ra é a resistência de aderência à tração, em MPa;

F é a força de ruptura, em N;

A é a área do corpo de prova, em mm<sup>2</sup>.

Nos casos em que a ruptura ocorreu na interface substrato/pasta de gesso (Caso B das Figura 18b) e na interface substrato/chapisco e chapisco/pasta (Casos B e D da Figura 18a), os valores da resistência de aderência foram calculados com base na Equação 6.

Nos casos em que a ruptura ocorreu na interface cola/pastilha (Caso G da Figura 18a e Caso E da Figura 18b), os resultados foram desprezados, considerando-se que as rupturas se deram por imperfeições da cola.

Nos demais casos mostrados na Figura 18, as resistências de aderência não foram determinadas e são maiores que os valores obtidos no dinamômetro. Então, no relatório de ensaio (apêndice), os valores de ruptura foram apresentados precedidos pelo sinal de maior que (>).

Logo após o ensaio, 3 testemunhos foram retirados do sistema de revestimento com auxílio da serra copo para determinação da umidade do revestimento, uma vez que esta afeta a resistência de aderência. Os testemunhos foram pesados antes e depois de serem colocados na estufa a  $(105 \pm 5)$  °C até estabilização da massa. As espessuras de cada um desses testemunhos também foram medidas.

A descrição da construção da nomenclatura das miniparedes está apresentada no Quadro 7. A nomenclatura de cada uma está representada no Quadro 8. Todas as paredes tiveram registro de quais blocos as compuseram para traçar possível relação entre a resistência de aderência e as características de cada bloco que compõe cada parede. O mapeamento das paredes é mostrado no Apêndice F.

Quadro 7 – Descrição das nomenclaturas das paredes

Três primeiros caracteres	Quarto a sexto caracteres <sup>1</sup>	Sétima a nona letras	Décima a décima segunda letras	Número finais	Exemplo
<b>BCE</b> – bloco cerâmico; <b>BCO</b> – bloco de concreto; <b>PC1</b> – parede de concreto com resistência 1; <b>PC2</b> – parede de concreto com resistência 2.	<b>SEC</b> – seco; <b>U0,5</b> – pré-umedecido com 0,5%; <b>U1,0</b> – pré-umedecido com 1%.	<b>SCH</b> – sem chapisco; <b>CHC</b> – chapisco convencional de cimento; <b>CHG</b> – Chapisco de gesso cola.	<b>PGE</b> – pasta de gesso sem incorporação de aditivos	<b>0,6</b> – relação a/g de 0,6; <b>0,8</b> – relação a/g de 0,8; <b>1,0</b> – relação a/g de 1,0.	<b>BCE-U0,5-SCH-PGE0,8</b> – base de bloco cerâmico pré-umedecimento com 0,5% sem chapisco com pasta de gesso com relação a/g de 0,8.

<sup>1</sup> Desconsiderar vírgula no quantitativo de caracteres.

Quadro 8 – Nomenclatura de cada parede/sistema de revestimento

Parede estudada/ nomenclatura	Variáveis			Composição do traço (pasta de gesso)	
	Base	Tratamento da base			
		Umedecimento	Chapisco	Traço	
BCE-U1,0-SCH-PGE0,6	Bloco cerâmico	Úmido 1%	Sem chapisco	Traço 1 – a/g = 0,6	
BCE-U0,5-SCH-PGE0,6		Úmido 0,5%			
BCE-SEC-SCH-PGE0,6		Seco			
BCE-U1,0-SCH-PGE0,8		Úmido 1 %		Sem chapisco	Traço 2 – a/g = 0,8
BCE-U0,5-SCH-PGE0,8		Úmido 0,5%			
BCE-SEC-SCH-PGE0,8		Seco			
BCE-U1,0-SCH-PGE1,0		Úmido 1 %			Traço 3 – a/g = 1,0
BCE-U0,5-SCH-PGE1,0		Úmido 0,5%			
BCE-SEC-SCH-PGE1,0		Seco			
BCE-SEC-CHC-PGE0,8	Bloco cerâmico	Seco	Convencional de cimento		Traço 2 – a/g = 0,8
BCE-SEC-CHG-PGE0,8			Gesso cola		
BCO-U1,0-SCH-PGE0,6	Bloco de concreto	Úmido 1 %	Sem chapisco		Traço 1 – a/g = 0,6
BCO-U0,5-SCH-PGE0,6		Úmido 0,5%			
BCO-SEC-SCH-PGE0,6		Seco			
BCO-U1,0-SCH-PGE0,8		Úmido 1 %		Traço 2 – a/g = 0,8	
BCO-U0,5-SCH-PGE0,8		Úmido 0,5%			
BCO-SEC-SCH-PGE0,8		Seco			
BCO-U1,0-SCH-PGE1,0		Úmido 1 %		Traço 3 – a/g = 1,0	
BCO-U0,5-SCH-PGE1,0		Úmido 0,5%			
BCO-SEC-SCH-PGE1,0		Seco			
PC1-SEC-SCH-PGE0,8	Concreto de resistência 1	Seco	Sem	Traço 2 – a/g = 0,8	
PC1-SEC-CHC-PGE0,8			Chapisco de cimento		
PC1-SEC-CHG-PGE0,8			Gesso cola		
PC2-SEC-SCH-PGE0,8	Concreto de resistência 2		Sem		
PC2-SEC-CHC-PGE0,8			Chapisco de cimento		
PC2-SEC-CHG-PGE0,8			Gesso cola		

Fonte: Autora, 2021.

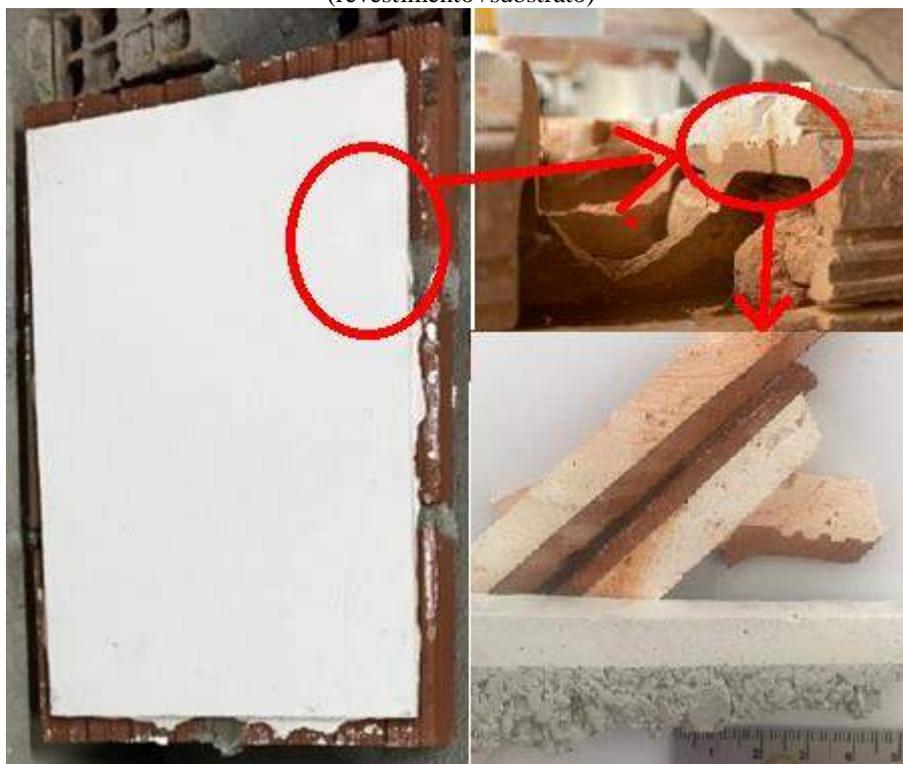
As análises dos resultados de resistência de aderência à tração dos sistemas executados com os diferentes fatores de análise foram realizadas por meio do teste de T Student e análise de variância ANOVA para verificação das diferenças estatisticamente significativas, para um

intervalo de confiança de 95%, utilizando o Microsoft Excel. Esta ferramenta também foi utilizada para traçado dos gráficos.

### 3.2.3.6 Avaliação da interface revestimento-substrato por meio de lupa estereoscópica

Das mesmas miniparedes utilizadas no ensaio de resistência de aderência à tração, foram cortadas tiras de 0,5 a 1,0 cm de espessura com comprimentos variados (em geral, cerca de 10 cm) do revestimento unido ao substrato com auxílio de uma serra com disco diamantado elétrica. As amostras são apresentadas na Figura 46.

Figura 46 – Local de coleta das amostras nas miniparedes e amostra para análise por meio de lupa: miniparede com revestimento cortada em tiras de 0,5 a 1,0 cm de espessura e cerca de 10 cm de comprimento (revestimento+substrato)



Fonte: Autora, 2021.

Essas interfaces das amostras foram analisadas em lupa estereoscópica, da marca Marte, que permite um aumento de até 45 x com uma câmera fotográfica acoplada que permite ampliação de 20 x. Foram fotografadas as interfaces com ampliação máxima.

### 3.2.3.7 Observação e análise da interface revestimento-substrato por meio de microscópio eletrônico de varredura (MEV)

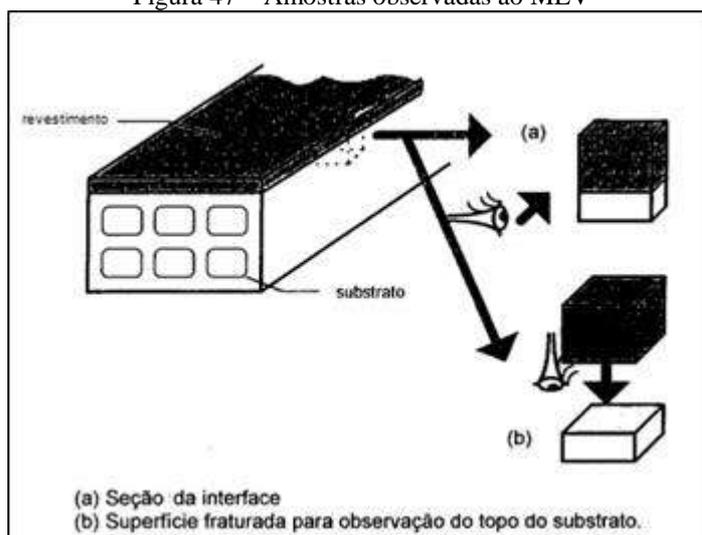
A avaliação morfológica da região das interfaces foi realizada em dois tipos de microscópio eletrônico de varredura. O primeiro com melhor qualidade de visualização é da marca Tescan acoplado a um microanalisador EDS (espectroscopia de dispersão de energia por raios X) da marca Oxford, para identificação dos elementos químicos constituintes e eventuais impurezas. Devido a um problema neste equipamento, foi necessário utilizar o microscópio de bancada da marca Hitachi TM-1000 com EDS Oxford, com qualidade de visualização de imagens inferior, quando comparado ao primeiro equipamento.

Considerou-se, semelhantemente a Carasek (1996), duas frentes de trabalho. Na primeira frente, o objetivo foi verificar a penetração da pasta adesiva nos poros do substrato, bem como observar a profundidade da penetração e as características químicas do produto ou elementos presentes na interface. Para isso, utilizou-se o mapeamento dos elementos através de raios X, somente possível com o primeiro equipamento Tescan. Além disso, esta frente de trabalho tinha o objetivo de observar a morfologia dos produtos na interface.

Foram preparadas amostras de interface revestimento/substrato, conforme Figura 47a. Utilizaram-se as amostras coletadas conforme item anterior (3.3.3.6) para análise em lupa, com cerca de 28 dias. Essas amostras foram reduzidas em tamanho por meio de fratura, empregando-se aquelas com a superfície mais plana possível (visível a olho nu). Não foram utilizadas na análise amostras de faces planas por meio de disco de corte, pois houve problemas de contaminação e, como as amostras apresentam dois materiais unidos, um material era contaminado pelo outro durante corte. Além disso, não há possibilidade de lavagem com água da face dada a alta solubilidade dos produtos hidratados do gesso.

A segunda frente de trabalho foi identificar os produtos hidratados formados na interface e observar sua morfologia. Para tal, separou-se a área de contato do revestimento com a base por meio de esforços de tração na flexão e, analisou-se o topo da superfície do substrato que estava em contato com o revestimento, conforme esquema da Figura 47b.

Figura 47 – Amostras observadas ao MEV



(Fonte: adaptação CARASEK, 1996)

As amostras, para as duas frentes de trabalhos, foram secas em estufa a 70°C por um período de, aproximadamente, 20 horas, e colocadas em dessecador à vácuo com sílica gel e mantidas à temperatura ambiente até a execução dos ensaios previstos.

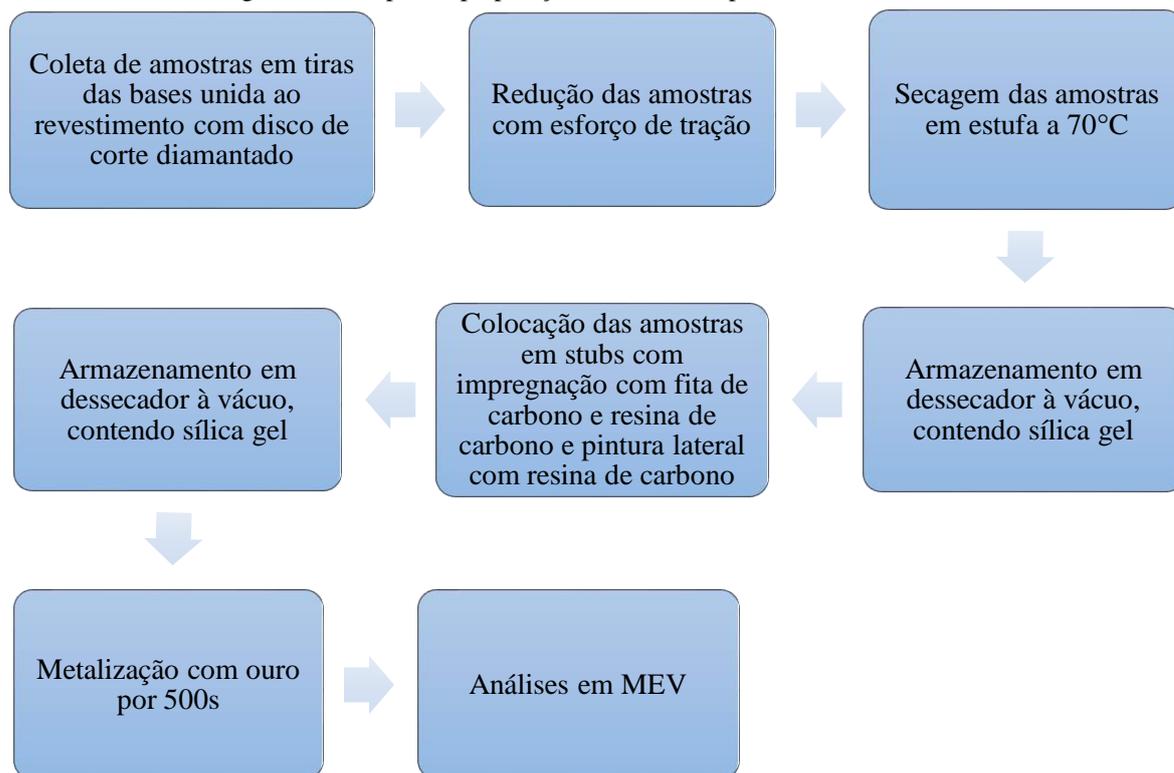
No primeiro equipamento (Tescan, com EDS Oxford), as amostras foram postas em *stubs* com impregnação com fita de carbono e resina de carbono. Pintou-se as amostras parcialmente nas laterais com esta resina para aumentar a condutividade elétrica e, em sequência, foram armazenadas em dessecador. As amostras posicionadas nos *stubs* são apresentadas na Figura 48.

Figura 48 – Amostras colocadas nos *stubs* para análise em MEV

Fonte: Autora, 2021.

Em seguida, as amostras foram metalizadas com ouro durante 500 segundos, para, na sequência serem analisadas por MEV. A Figura 49 apresenta um fluxograma das etapas de preparação das amostras e observação no MEV.

Figura 49 – Etapas de preparação das amostras para análise no MEV



Fonte: Autora, 2021.

Para o segundo equipamento (Hitachi, TM-1000), as amostras das duas frentes de trabalho (Figura 47) não foram metalizadas, não foram impregnadas com resina de carbono e não tiveram pintura lateral com resina de carbono.

Devido à impossibilidade por razões econômicas de realização de análise por MEV de todos os sistemas de revestimento, foram analisadas somente alguns sistemas de cada frente de trabalho, de modo a contemplar a análise da maioria dos fatores de influência em estudo.

### 3.2.3.8 Análise petrográfica

A análise petrográfica é uma ferramenta muito aplicada na caracterização de rochas e mesmo de concreto associada a caracterização de produtos da reação álcali agregado (QUARCIONI *et al.*, 2001). Na técnica, observa-se o material em uma lâmina delgada por um microscópio ótico de luz polarizada.

Foi realizada a análise petrográfica de amostras dos sistemas de revestimento das duas frentes de trabalho do MEV (Figura 47) com o objetivo de verificar a estrutura e composição mineral na interface.

Foram coletadas amostras como apresentada na Figura 46. Para primeira frente de trabalho (Figura 47a), o corte longitudinal para produção da lâmina da análise petrografia ocorreu em uma localização intermediária a uma profundidade definida aleatoriamente. Para a segunda frente de trabalho (Figura 47b), após o descolamento do revestimento, o corte para produção da lâmina ocorreu a menos de 1,0 mm da superfície do substrato que estava em contato com o revestimento; a profundidade exata não foi possível ser mensurada. A lâmina não foi preparada na superfície, pois há necessidade de aprofundamento no preparo da amostra e também, como forma de eliminar possíveis contaminantes na superfície oriundos do transporte e do manuseio.

O procedimento de preparo da amostra é da seguinte forma: impregnação da amostra com cola epóxi Glass para o material ficar resistente, desbaste do material com abrasivo (alumina) para amostra ficar plana, colagem do vidro na amostra, corte da amostra para redução das dimensões e desbaste do material com material abrasivo (alumina) até espessura na qual a luz passe pela amostra/lâmina. Para coleta das imagens, foi utilizado um microscópio Olympus BX40.

O preparo da amostra foi realizado por profissional habilitado (geólogo). É importante destacar a grande dificuldade do preparo descrita pelo profissional: o gesso utilizado revestimento apresenta baixa resistência/dureza, de modo que, no desbaste com alumina, o gesso, muitas vezes, era perdido no processo. Além disso, pelo material ser de alta solubilidade em água, no desgaste com alumina não se utilizava água e sim, um óleo vegetal tornando o processo mais trabalhoso.

Por razões econômicas, foram analisados somente alguns sistemas de revestimento de cada frente de trabalho, de modo a contemplar a análise da maioria dos fatores de influência em estudo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos a partir da execução do programa experimental descrito no capítulo anterior. Na primeira parte, é descrita e discutida a influência de cada variável analisada na resistência de aderência: influência do tipo de substrato, de tratamento da base e da composição do revestimento. Em sequência, faz-se uma análise da extensão de aderência do revestimento em pasta de gesso em analogia àqueles de argamassa de cimento, investiga-se uma possível penetração do material do revestimento no substrato por meio de mapeamento químico e avalia-se a microestrutura da interface do revestimento por meio de MEV e análise petrográfica. Os resultados obtidos nas diferentes partes são correlacionados durante a discussão.

### **4.1 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO**

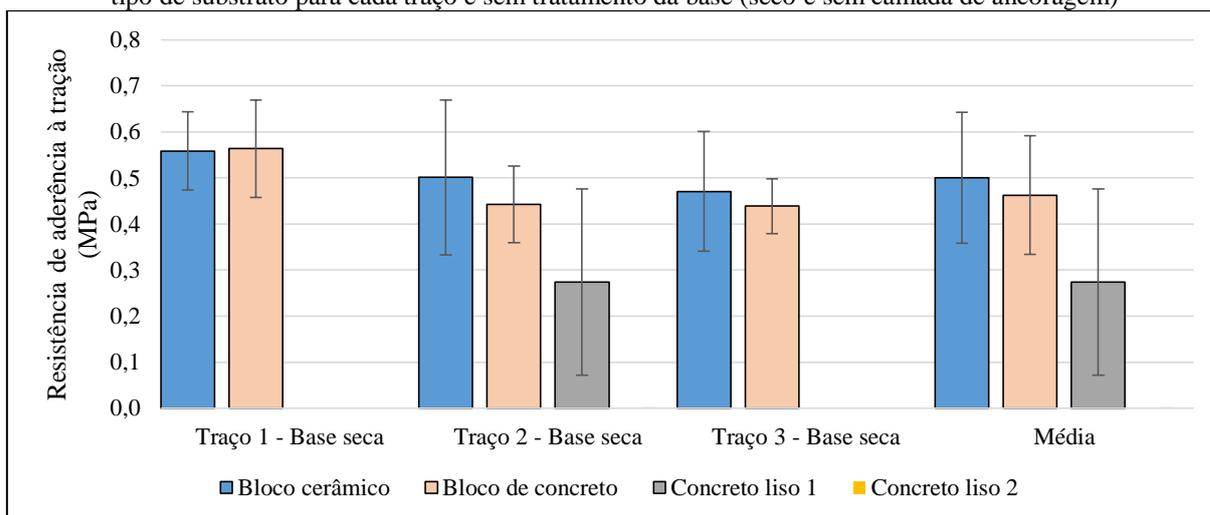
Os resultados de resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento em pasta de gesso em função das variáveis de estudo consideradas (tipo de substrato, pré-tratamentos da base e composição dos revestimentos) são descritos e analisados com auxílio de ferramentas estatísticas para verificação das diferenças estatisticamente significativas.

#### **4.1.1 Influência do tipo de substrato**

Os resultados de resistência de aderência média dos sistemas de revestimento para cada base estudada (bloco cerâmico, bloco de concreto e concreto liso) sem pré-umedecimento separados por traço (pastas de gesso com relação a/g de 0,6, 0,8 e 1,0) são apresentados na Figura 50. Os resultados apresentam grande variação, como já mencionado e investigado por outros autores (COSTA; CARASEK, 2009; COSTA, 2007; GONÇALVES, 2004; SARAIVA; BAUER; GONÇALVES, 2010) na literatura.

A partir da Figura 50, verifica-se uma tendência de decréscimo de resistência de aderência, na sequência, do bloco cerâmico, bloco de concreto e do concreto liso. O ensaio de resistência de aderência em base de concreto liso 2, de maior resistência em comparação ao concreto 1, não foi bem-sucedido, apresentando o deslocamento do revestimento da base antes de iniciar os cortes com serra copo para execução do ensaio de resistência de aderência à tração.

Figura 50 – Resultados de resistência de aderência dos sistemas de revestimento em pasta de gesso em função do tipo de substrato para cada traço e sem tratamento da base (seco e sem camada de ancoragem)



Fonte: Autora, 2021.

Somente com a pasta de traço 2 ( $a/g = 0,8$ ) com substrato seco, foram executados sistemas de revestimentos em todas as bases utilizadas. Neste caso, a partir da Figura 50, observa-se uma tendência de redução da resistência de aderência em bases de bloco cerâmico, seguido de bloco de concreto, concreto liso 1 (8,140 MPa) e concreto liso 2 (17,114 MPa). A média de resistência de aderência foi 0,50, 0,46, 0,27 e 0,00 para os substratos bloco cerâmico, bloco de concreto, concretos lisos 1 e 2, respectivamente. Exceto para a base de concreto liso 2, todos os demais sistemas de revestimento atendem a resistência mínima de 0,2 MPa, requisitada pelo NBR 13207 (2017).

Uma avaliação por ANOVA verificou que há diferenças estatisticamente significativas na execução de sistemas de revestimento em pasta de gesso com bases distintas, o que é justificado pelas diferenças de textura, porosidade e composição. Portanto, para o mesmo tratamento da base (sem pré-umedecimento e sem camada de ancoragem) e mesmo traço, a base é um fator significativo na resistência de aderência.

Segundo Carasek (1996) e Paes (2004), os substratos podem ser caracterizados pela porosidade, estrutura e distribuição dos tamanhos dos poros, pela capacidade de absorção de água e pela textura superficial de contato (lisa ou rugosa), entre outros; de modo que estas características influenciam na velocidade e quantidade da água transportada da argamassa fresca para o substrato e, conseqüentemente, na alteração da microestrutura da argamassa nesta região de contato.

Os dois concretos lisos (1 e 2) foram produzidos com os mesmos materiais e processo de produção. A distinção entre ambos é somente na dosagem dos materiais, que altera sua

distribuição de poros, provavelmente a textura superficial e, por consequência, a resistência de aderência. De modo que, para o concreto liso 1, o sistema de revestimento apresentou resistência de aderência satisfatória e para o concreto liso 2, a resistência de aderência foi nula. Os resultados de resistência de aderência à tração desses sistemas executados em concretos com resistência à compressão distintas apresentam diferenças estatisticamente significativas, verificadas por ANOVA. Isso pode estar associado à porosidade ou alteração da rugosidade pela mudança do traço.

Contudo, para o mesmo caso (traço 2 e base seca) excluindo-se as bases de concreto e analisando, por ANOVA, somente as bases de blocos cerâmicos e blocos de concreto, não há diferenças estatisticamente significativas. Mais detalhes dessas análises estatísticas podem ser visualizados no Apêndice H.1.

Para o traço 1 ( $a/g = 0,6$ ), a resistência de aderência à tração média foi a mesma para os dois substratos utilizados (bloco cerâmico e bloco de concreto). Para o traço 3 ( $a/g = 1,0$ ), a resistência de aderência à tração no substrato cerâmico foi de 0,47 MPa e no substrato de bloco de concreto foi de 0,44 MPa.

Dos estudos na literatura que avaliaram a influência do tipo de substrato (COSTA E SILVA, DELGADO, AZEVEDO, 2021; DELGADO, PIRES SOBRINHO, 1997; NEVES, 2018; SOUSA, ALMEIDA, ALMEIDA, 2015), houve uma maior resistência de aderência encontrada para o substrato de bloco de concreto em comparação com o substrato de bloco cerâmico.

A distribuição dos poros dos substratos cerâmicos tem um grande volume de poros de pequenos diâmetros, que, apesar de sua elevada força de sucção, possivelmente retiram uma menor quantidade de água da argamassa nos instantes iniciais, comparativamente ao bloco de concreto (PAES, BAUER, CARASEK, 2005). Pelos resultados de porosimetria por intrusão de mercúrio das amostras de bloco cerâmico (102L2)<sup>16</sup> e de bloco de concreto, verifica-se que o primeiro é mais de 10% mais poroso que o bloco de concreto. Contudo, o diâmetro médio dos poros do bloco de concreto é, aproximadamente, 79% maior que os do bloco cerâmico. Isso causa uma alteração no processo de sucção do revestimento pela base.

O bloco cerâmico apresenta superfície mais densa, compacta e lisa e que, por sua vez, o bloco de concreto apresenta maior rugosidade superficial e uma textura diferenciada que favorece o

---

<sup>16</sup> Na análise, foi considerada a amostra de bloco cerâmico 102L2, pois, das três analisadas (96L1; 102L2; 108L1), é a que está na faixa de absorção total dos blocos cerâmicos utilizados nas miniparedes empregadas no presente estudo.

intertravamento da argamassa (macroancoragem) (PAES, BAUER, CARASEK, 2005; SCARTEZINI, CARASEK, 2003).

A respeito da rugosidade superficial dos componentes de alvenaria, os blocos que têm esta característica mais acentuada, como o bloco de concreto, apresentam um aumento da área de contato entre este e o revestimento que pode levar a um maior transporte de água da argamassa fresca para o interior do substrato e, conseqüentemente, a uma melhora na resistência de aderência dos revestimentos (RIBAR, DUDOBOY, 1988 apud PAES, BAUER, CARASEK, 2005).

A distribuição de seus poros, aliadas as suas características superficiais, são responsáveis pelo bloco cerâmico succionar água em menor quantidade e em tempos mais prolongados, comparativamente ao bloco de concreto, nos instantes pós-aplicação (PAES, 2004). A pesquisadora avaliou se a geometria dos blocos cerâmicos e blocos de concreto distinta influencia no transporte de água e verificou que se estes blocos tivessem mesma geometria, ainda assim o bloco de concreto teria maior potencial de sucção de água, sendo estas características atreladas à natureza dos componentes (estrutura porosa e características superficiais).

Para os sistemas executados com os traços 1 e 3, as diferenças de resistência de aderência à tração nas bases de bloco cerâmico e bloco de concreto não foram estatisticamente significativas, considerando a análise por ANOVA, para um intervalo de confiança de 95% (Apêndice H.1).

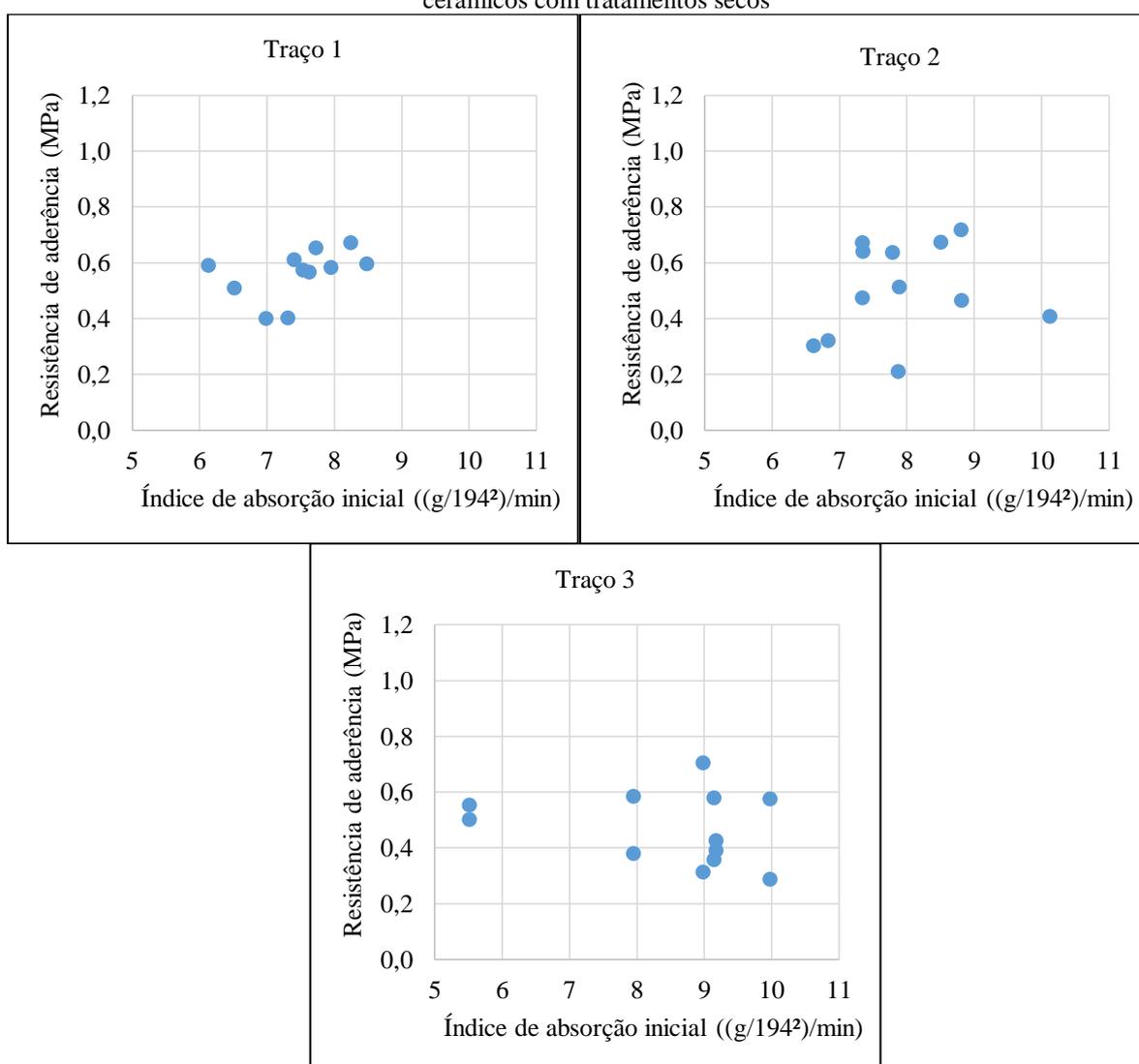
Há ainda que se considerar o tipo de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração. Para todas as bases, exceto a base de bloco de concreto, a ruptura foi predominantemente adesiva (interface revestimento-substrato). Para o substrato de bloco de concreto, houve grande quantidade de ruptura coesiva (aproximadamente, 47%), o que indica que a resistência de aderência do revestimento ao substrato seria maior do que a obtida. A análise do tipo de ruptura é tratada em tópico a parte (ver tópico 4.1.5).

A partir da constatação da influência do tipo de substrato na resistência de aderência, buscou-se determinar os fatores e características que justificam as alterações na resistência de aderência. Inicialmente, uma alternativa foi avaliar se a taxa inicial de absorção (IRA) apresenta correlação com os valores de resistência de aderência obtidos. Para cada valor de resistência de aderência, há um valor de IRA associado, que foi obtido por ensaio individual de cada bloco cerâmico,

bloco de concreto e placa de concreto. Fez-se um mapeamento dos blocos (Apêndice F): para cada parede/protótipo ensaiado, sabe-se quais os blocos e suas respectivas posições, os IRAs, as absorções totais e as resistências de aderência resultantes do arrancamento dos corpos de prova posicionados sobre cada um desses.

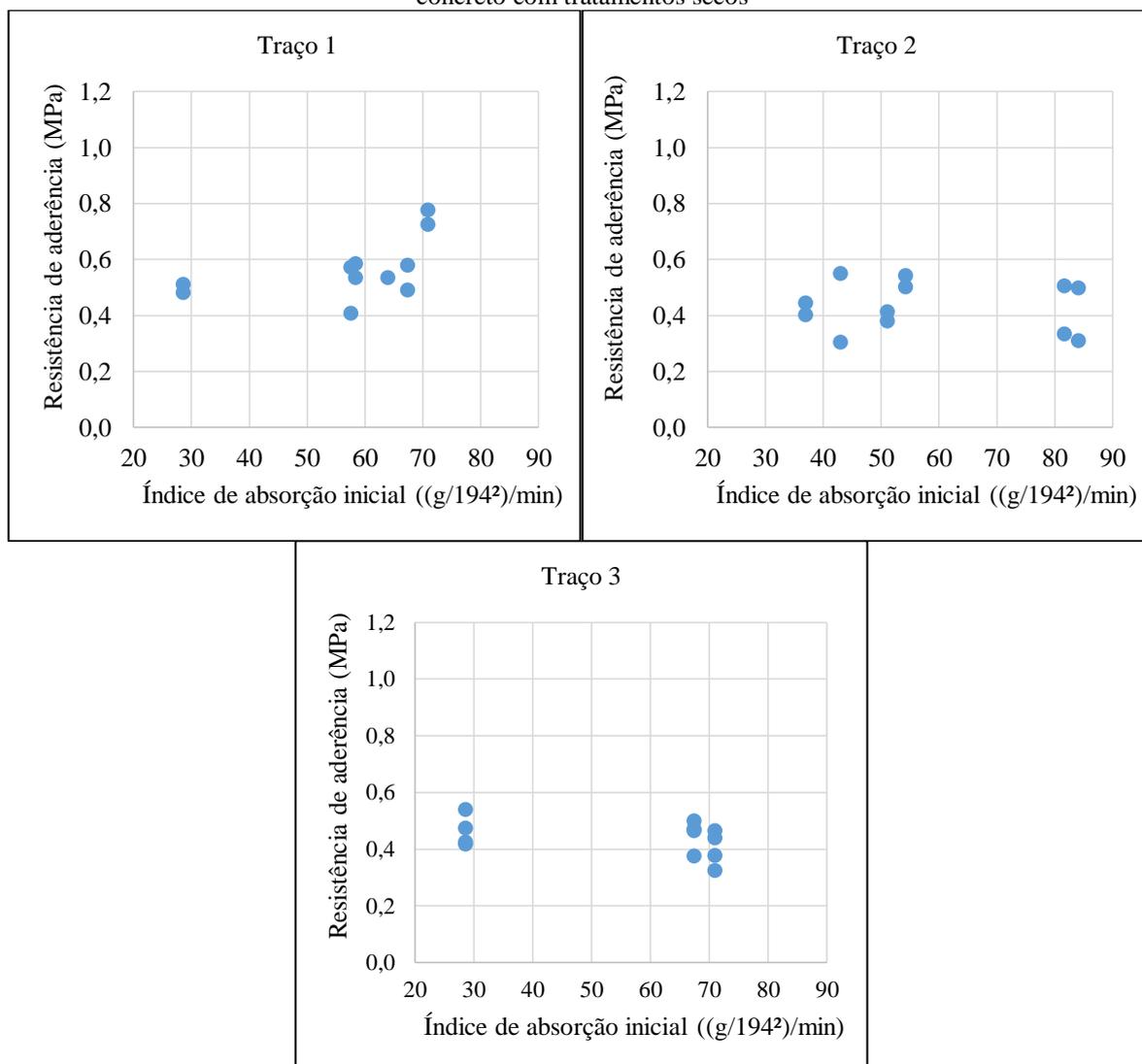
Os resultados da resistência de aderência à tração em função do IRA do bloco sem tratamento (seco) para os traços 1, 2 e 3 são apresentados nas Figuras 51 e 52 para base de bloco cerâmico e bloco concreto, respectivamente.

Figura 51 – Resistência de aderência dos traços 1, 2 e 3 em função da taxa inicial de absorção (IRA) de blocos cerâmicos com tratamentos secos



Fonte: Autora, 2021.

Figura 52 – Resistência de aderência dos traços 1, 2 e 3 em função da taxa inicial de absorção (IRA) de blocos de concreto com tratamentos secos



Fonte: Autora, 2021.

Não há estudos que investiguem a influência do índice de absorção inicial dos substratos com a resistência de aderência de revestimentos em pasta de gesso. Comparativamente, o bloco de concreto apresenta IRA mais elevado que o do bloco cerâmico. A partir dos resultados obtidos, verifica-se que não há correlação entre o IRA e a resistência de aderência à tração. Assim, conclui-se que o índice de absorção inicial de água não é um bom parâmetro para justificar as alterações na resistência de aderência quando os revestimentos são aplicados sobre diferentes substratos.

Segundo Paes (2004), o transporte de água das argamassas de cimento frescas para os substratos porosos, nos primeiros 60 minutos, verificado por meio de sensores posicionados internamente nas camadas dos revestimentos é que está associado ao desenvolvimento da resistência de aderência. Para a autora, o IRA serve de “indicador do potencial absorvente” do componente

frente à argamassa sendo necessário considerar, dentre outros aspectos, a porosidade dos materiais. A tese da autora teve esse foco: avaliação do transporte de água da argamassa fresca para o substrato. A avaliação do transporte de água em função do tempo não foi contemplada neste estudo.

Pesquisadores citados por Paes (2004), como Han & Kishitani (1984), Goodwin & West (1988), McGiley (1990) e Groot & Larbi (1999), afirmam que o IRA é a propriedade do substrato de maior influência na resistência de aderência e, em função de seus valores, pode-se escolher o tipo de argamassa a ser usada no revestimento, chegando a apresentar valores mínimos e máximo de IRA de blocos cerâmicos para se obter uma aderência adequada de argamassas. Contudo, outros pesquisadores, como Paes (2004), Carasek (1996), Ioppi, Prudêncio, Iriyama (1995), Scartezini (2002), Taha, El-Dieb e Shrive (2001) afirmam que não há um comportamento definido entre o IRA e a resistência de aderência.

O método de ensaio do IRA mede a absorção de água livre e não da água restringida da argamassa e, além disso, mede a sucção apenas em um minuto, o que não determina as forças capilares ao longo do tempo (GALLEGOS, 1995 apud MOTA, 2006; SILVA, 2004). Embora, estejam associados àqueles de maior força capilar.

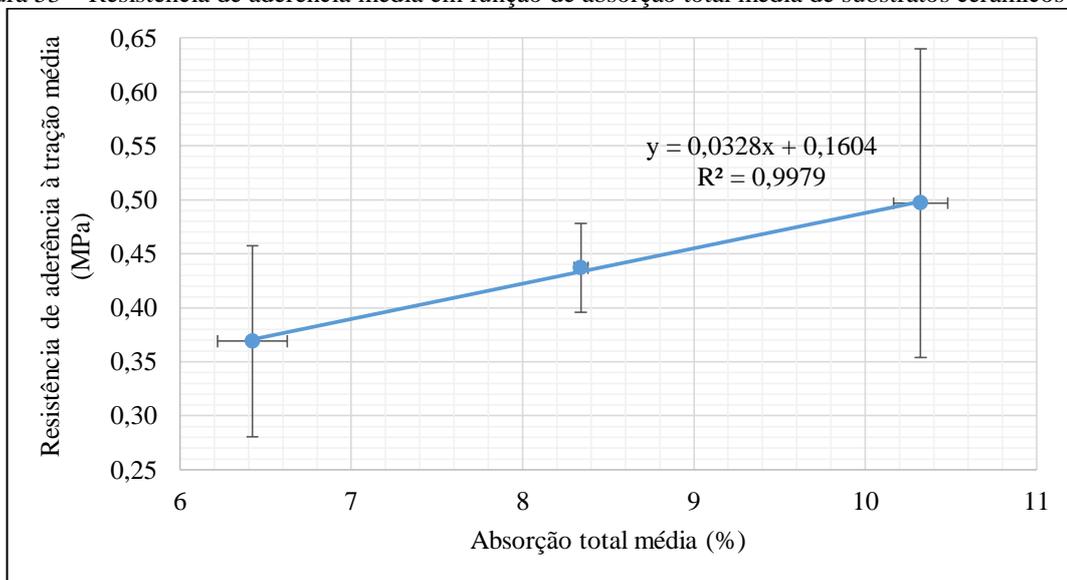
A sucção não está associada à estrutura dos poros e sim ao conteúdo de poros capilares do substrato (IOPPI, 1995). Os poros ativos são aqueles que possuem força capilar suficiente para exercer a ação de sucção da água (CARASEK, 1996; SCARTEZINI, 2002). Para Gallegos (1995 apud COSTA, 2014), os poros ativos são aqueles que possuem diâmetros compreendidos entre 0,1  $\mu\text{m}$  e 5  $\mu\text{m}$ . Para o pesquisador, os poros inferiores a 0,1  $\mu\text{m}$ , absorvem quantidades insignificantes de água e, os superiores a 5  $\mu\text{m}$  não possuem força capilar suficiente para vencer os poros existentes na matriz cimentícia. É importante salientar que, considerando a teoria de poros ativos, os poros ativos do substrato para absorção de água contida na pasta têm que ser menores que os dessa pasta.

Todos os poros, no entanto, 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).

Uma outra alternativa de investigação foi avaliar o efeito da absorção total e do coeficiente de absorção de água das bases na resistência de aderência. Foram selecionados blocos cerâmicos com 3 faixas de absorção total distintas: aproximadamente 6%, 8% e 10%, sendo 3 blocos para

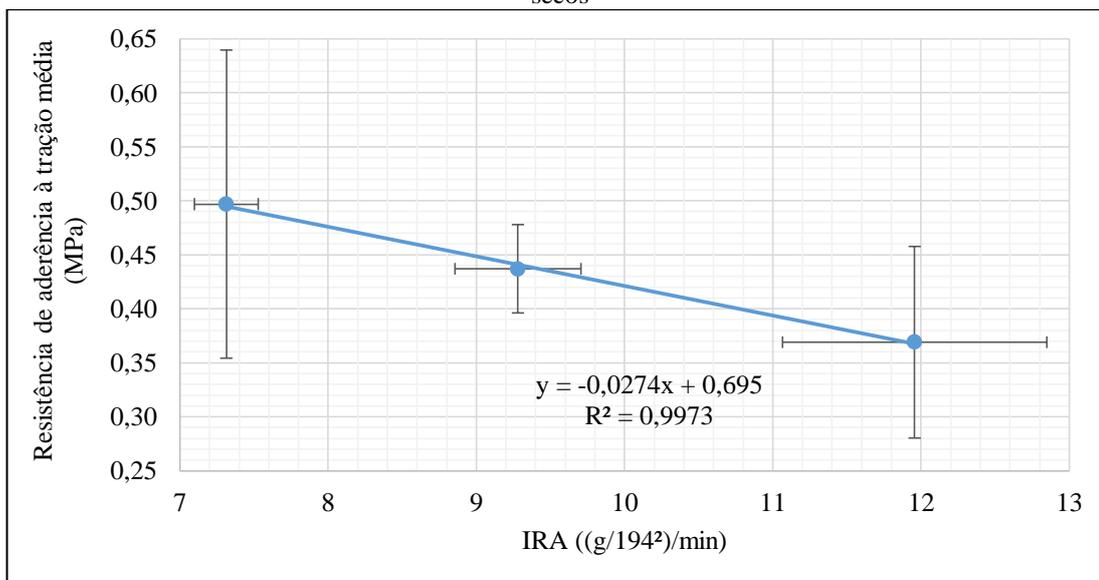
cada faixa. Os resultados da resistência de aderência em função da absorção dos blocos estão apresentados na Figura 53. Nas Figuras 54 e 55, são apresentados os gráficos da resistência de aderência em função dos índices de absorção inicial médio e coeficiente de absorção médio, respectivamente.

Figura 53 – Resistência de aderência média em função de absorção total média de substratos cerâmicos secos



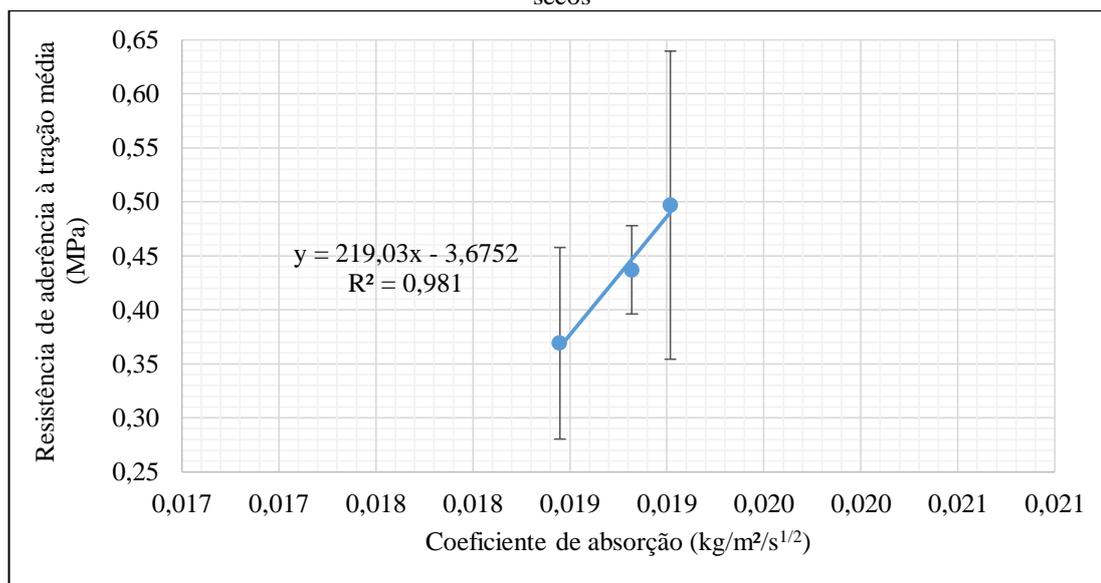
Fonte: Autora, 2021.

Figura 54 – Resistência de aderência média em função índice de absorção inicial médio de substratos cerâmicos secos



Fonte: Autora, 2021.

Figura 55 – Resistência de aderência média em função do coeficiente de absorção médio de substratos cerâmicos secos



Fonte: Autora, 2021.

A partir da Figura 53, verifica-se que à medida que aumenta a absorção média de blocos cerâmicos, numa faixa entre 6,39% e 10,31%, há uma tendência de crescimento da resistência aderência média dos sistemas de revestimento. Comportamento semelhante é visualizado na Figura 55, quando se analisa a resistência de aderência média em função do coeficiente de absorção médio. Em contrapartida, a Figura 54 mostra o comportamento inverso: à medida que aumenta o índice de absorção inicial médio, há uma redução da resistência de aderência média.

Os blocos cerâmicos de mais baixa absorção total tiveram os mais altos valores de IRA. Ou seja, aqueles que tiveram maior força capilar devido aos poros capilares para succionar a água no tempo de 1 minuto, não apresentaram os maiores volumes de poros. Além disso, os blocos com absorção proporcionalmente mais alta também apresentaram maior coeficiente de absorção por capilaridade.

Para explicar variações na aderência de argamassas de cimento, Carasek (1996) relacionou também resultados da resistência de aderência à tração com o coeficiente de absorção de água das bases, que representa a velocidade de sucção ao longo do tempo, mas para nenhuma combinação foi obtida regressão estatisticamente significativa.

A fim de determinar se essas diferenças de resistência de aderência nos blocos com as três faixas de absorção total são estatisticamente significativas, foi realizada uma análise por ANOVA (Apêndice H.1). Assim, foi possível constatar que as diferenças não foram estatisticamente significativas. A grande variabilidade dos resultados de resistência de aderência pode estar conduzindo a esta conclusão.

Não são encontrados na literatura estudos que avaliem a influência da distribuição dos poros na resistência de aderência de sistemas de revestimento à base de pasta de gesso. Carasek (1996) conseguiu descrever alterações na resistência de aderência à tração em função da porosidade dos substratos (diâmetro médio dos poros e área específica) em bases secas com algumas argamassas de cimento.

De acordo com Gallegos (1995 apud CARASEK, 1996), os poros dos blocos cerâmicos assemelham-se a condutos cilíndricos de textura suave; já os de matriz cimentícia podem ser comparados a uma sucessão de esferas secantes e possuem textura rugosa, por sua forma intrínseca ou devido à presença de cristais de hidratação na superfície dos agregados.

De modo a averiguar se os aspectos que descrevem a porosidade, como a distribuição dos tamanhos dos poros, a área específica e o diâmetro médio dos poros, obtidos por porosimetria por intrusão de mercúrio, explicam as alterações nos resultados de resistência de aderência à tração em função das características dos substratos cerâmicos, esses aspectos foram correlacionados com a resistência de aderência.

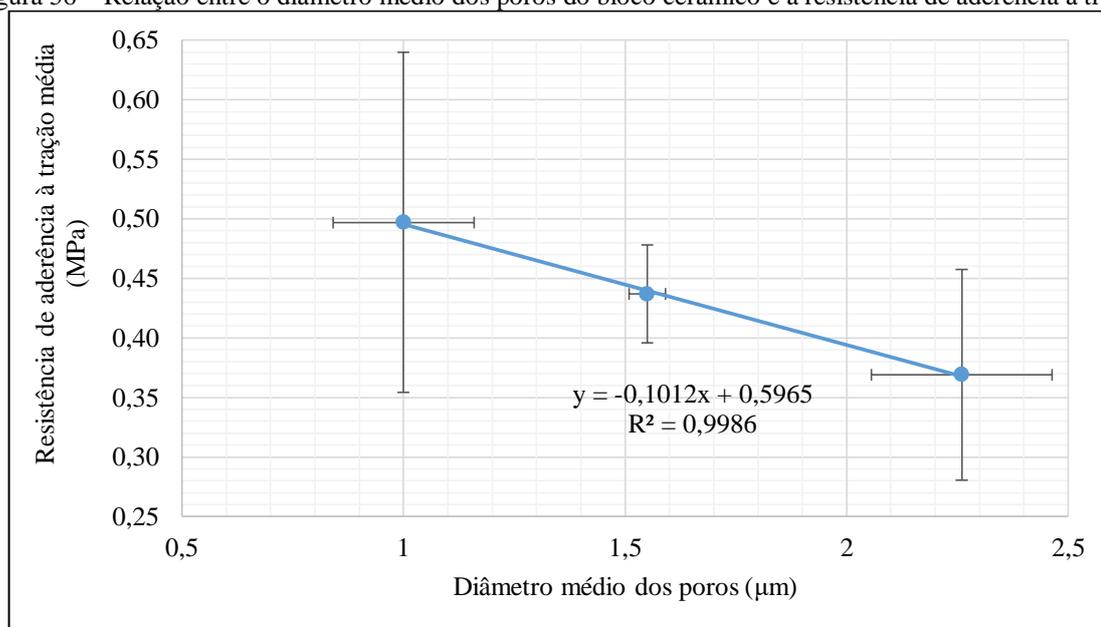
Na Tabela 22, são apresentados os dados de caracterização da porosidade das amostras de bloco cerâmico, bem como, os dados de resistência de aderência à tração resultantes de ensaios em sistemas de revestimento com blocos das mesmas faixas de absorção. Nas Figuras 56 a 58, são apresentadas as correlações desses dados graficamente.

Tabela 22 – Caracterização da porosidade das amostras de bloco cerâmico.

<b>Amostra de bloco cerâmico</b>	<b>Absorção (%)</b>	<b>Resistência de aderência (MPa)</b>	<b>Diâmetro médio dos poros (µm)</b>	<b>Área específica (m<sup>2</sup>/g)</b>	<b>Porosidade (%)</b>
Baixa absorção (108L1)	6,42±0,20	0,37±0,09	2,26	0,87	21,4257
Absorção intermediária (102L2)	8,34±0,04	0,44±0,04	1,55	6,054	23,984
Alta absorção (96L1)	10,32±0,16	0,50±0,14	1,00	15,07	25,5666

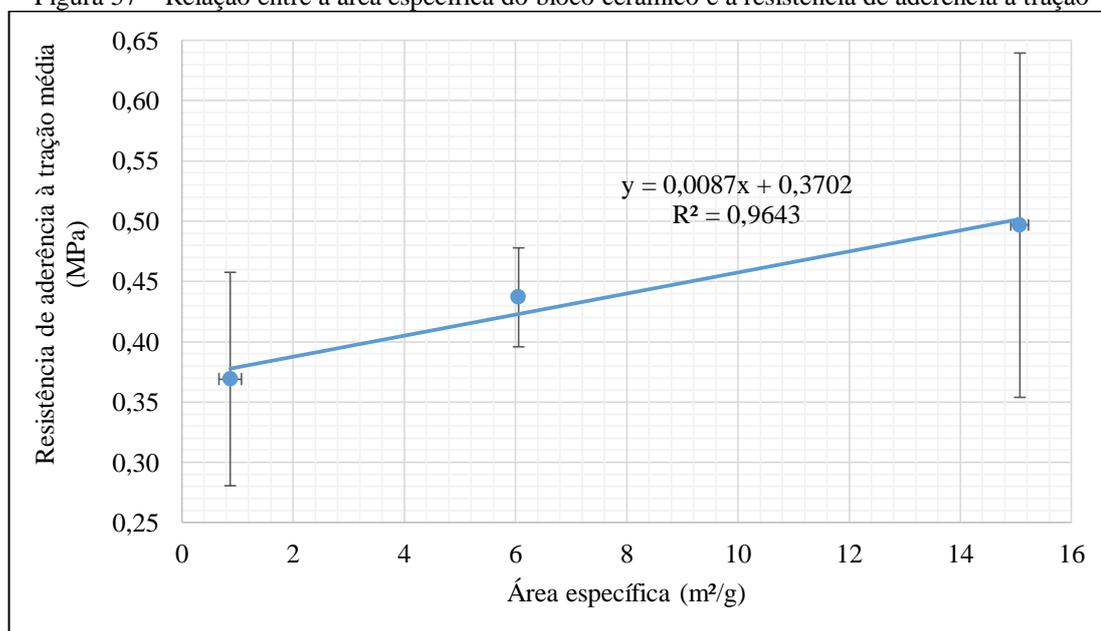
Fonte: Autora, 2021.

Figura 56 – Relação entre o diâmetro médio dos poros do bloco cerâmico e a resistência de aderência à tração



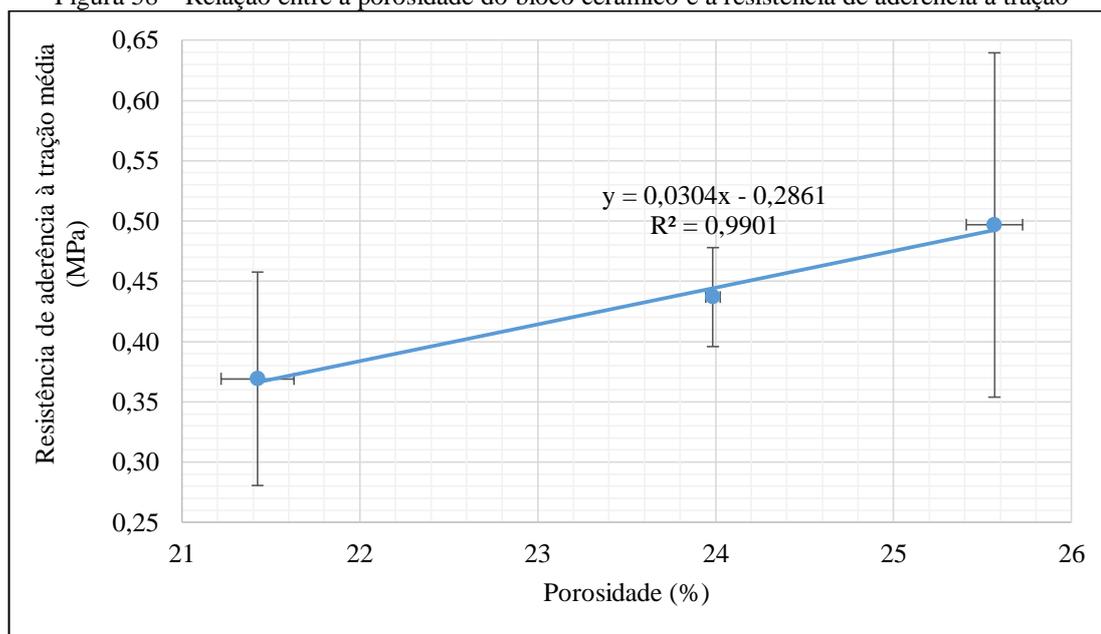
Fonte: Autora, 2021.

Figura 57 – Relação entre a área específica do bloco cerâmico e a resistência de aderência à tração



Fonte: Autora, 2021.

Figura 58 – Relação entre a porosidade do bloco cerâmico e a resistência de aderência à tração



Fonte: Autora, 2021.

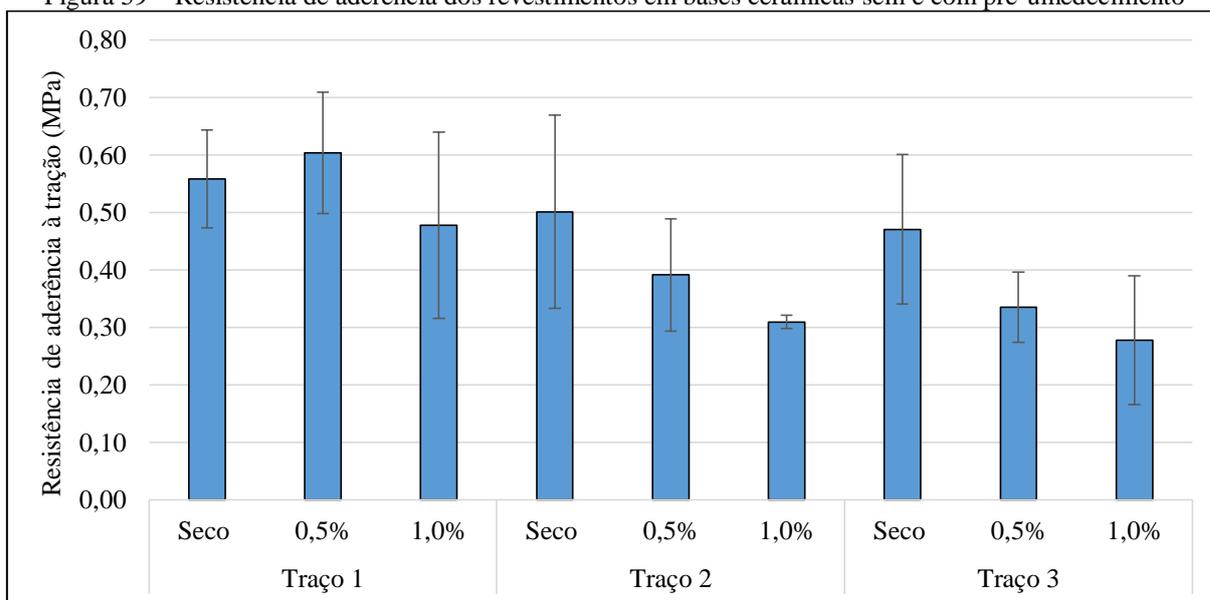
Pode-se verificar, a partir dos dados da Tabela 22 e das Figuras 56 a 58, que a resistência de aderência à tração aumentou com a redução do diâmetro médio do poro, com o aumento da área específica e com o aumento da porosidade. O bloco cerâmico de maior absorção apresentou valor de maior porosidade e área de poros, identificada pelo ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio. Contudo, apresentou menor diâmetro médio de poros, ou seja, apresenta maior quantidade de poros, embora de tamanhos menores.

A partir dos resultados apresentados no presente tópico, verifica-se que o substrato é um fator de influência nos sistemas de revestimentos em pastas de gesso quando se considera bases de bloco cerâmico, bloco de concreto e concreto para pastas com relação a/g de 0,8. Quando se considera somente bases de bloco cerâmico e bloco de concreto, não há diferenças estatisticamente significativas. Contudo, há que se considerar que em, aproximadamente, 47% dos corpos de prova nos blocos de concreto, a resistência de aderência à tração não foi determinada por ter apresentado ruptura coesiva.

#### 4.1.2 Influência do pré-umedecimento da base

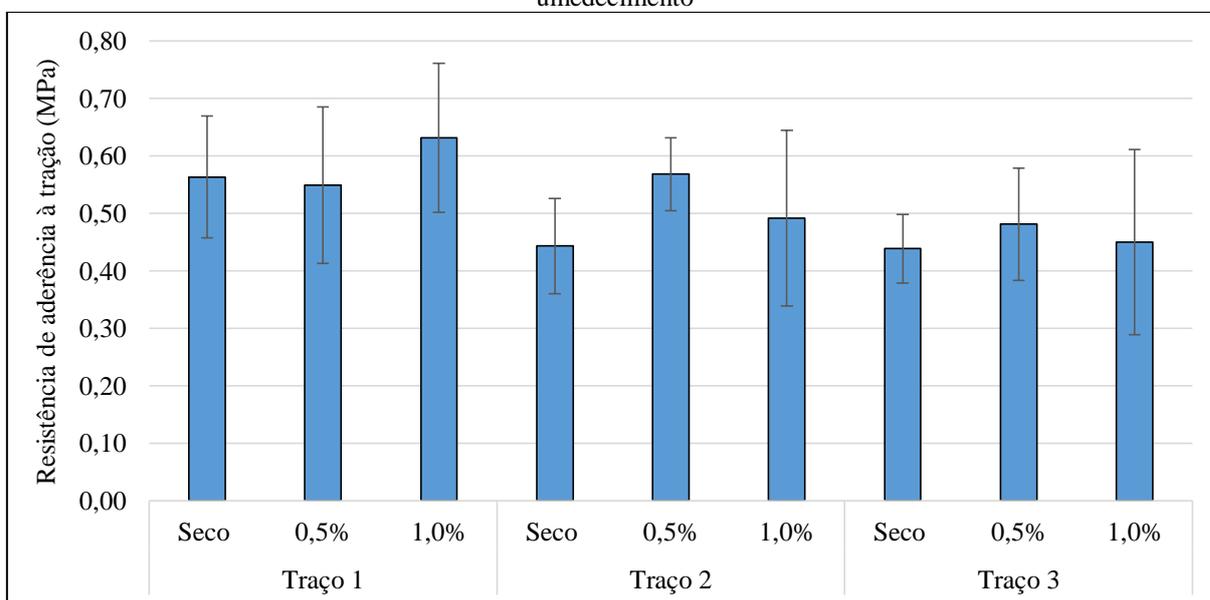
Todas as combinações de traços e bases de bloco cerâmico e bloco de concreto foram executadas sem pré-umedecimento da base (seca) e com pré-umedecimento de 0,5% e de 1%. Os resultados de resistência de aderência aos pares sem e com pré-umedecimento para cada traço executado nas bases cerâmicas e de bloco de concreto estão apresentados nas Figuras 59 e 60.

Figura 59 – Resistência de aderência dos revestimentos em bases cerâmicas sem e com pré-umedecimento



Fonte: Autora, 2021.

Figura 60 – Resistência de aderência dos revestimentos em bases de bloco de concreto sem e com pré-umedecimento



Fonte: Autora, 2021.

A partir das Figuras 59 e 60, são observados comportamentos distintos em função do pré-umedecimento para cada tipo de base. Para as bases de bloco cerâmico, visualizado na Figura 59, o comportamento é de queda de resistência de aderência à medida que se aumenta o teor de umidade da base. Contudo, independente desse pré-umedecimento, os revestimentos atingem a resistência de aderência mínima de 0,2 MPa, requisitada pela NBR 13207 (2017a).

Para o traço 1 ( $a/g = 0,6$ ), houve um aumento de, aproximadamente, 7% da resistência de aderência em relação à base seca. Entretanto, uma análise por ANOVA para verificação das

diferenças estatisticamente permite concluir que esse aumento não é significativo. Esse aumento pode ser atribuído a uma melhora na região de contato, considerando que no traço 1, a consistência da pasta estava mais seca (relação a/g 0,6).

Majoritariamente, há diferenças estatisticamente significativas entre manter o substrato cerâmico seco e pré-umedecer, verificadas por ANOVA, sendo a recomendação de não pré-umedecer essas bases para execução de revestimento em pasta de gesso. As análises por meio de ANOVA podem ser visualizadas no Apêndice H.2.

Esse mesmo comportamento foi constatado por Ferreira, Sousa e Carneiro (2019b) e Sousa, Almeida e Almeida (2015). Os blocos cerâmicos, por serem de cerâmica vermelha obtida por queima, apresenta a face vidrada, o que diminui a permeabilidade do substrato cerâmico e dificulta uma melhoria na microancoragem (BARDELLA, 2011). Somada a essas características superficiais, a estrutura porosa mais refinada do substrato cerâmico (poros de menores diâmetros), fazem com que este absorva a água da argamassa em tempos mais prolongados e em menor quantidade, quando comparado ao substrato de concreto (PAES, 2004).

O pré-umedecimento, provavelmente, diminuiu a capacidade de absorção do substrato e, por conseguinte, a quantidade de pasta de gesso penetrada nos poros superficiais da base, reduzindo a microancoragem e a resistência de aderência.

O comportamento inverso foi verificado na Figura 60, com base de bloco de concreto: o pré-umedecimento foi benéfico para a aderência. A tendência geral mostrou que o pré-umedecimento à teores de 0,5% e 1,0% repercutiu um aumento da resistência de aderência em comparação com os sistemas de revestimento executados com a base de bloco de concreto sem pré-umedecimento. Porém, o teor de pré-umedecimento de 0,5% apresentou maior ganho dessa propriedade: até 28,3% para o traço 2 e 9,7% para o traço 3.

Para o traço 1, o pré-umedecimento de 0,5% não apresentou alteração e o de 1,0% repercutiu em aumento de 12% do valor da resistência de aderência. Salienta-se que nos sistemas BCO-U0,5-SCH-PGE0,6 e BCO-SEC-SCH-PGE0,6, a ruptura ocorreu no substrato (aproximadamente, 70%), sendo a resistência de aderência à tração não determinada.

Pela porosimetria por intrusão de mercúrio (ver tópico 3.1.2), verifica-se que o substrato de bloco de concreto tem poros de maior dimensão em comparação com os poros do bloco cerâmico. A distribuição total dos poros e na sua interconectividade do bloco de concreto

explicam sua “avidéz” (maior sucção) pela água do revestimento fresco e que, em conjunto com características superficiais (textura e rugosidade), geram condições mais favoráveis à penetração da pasta ligante em seu interior e ao intertravamento mecânico (PAES, 2004).

A necessidade de pré-umedecimento da base nos sistemas de revestimento é bastante discutida na literatura. A perda de água por sucção é influenciada pelo volume de poros do substrato e pela força capilar, que depende do diâmetro dos poros (SELMO, 1989 apud POVOAS, JOHN, CINCOTTO, 1999). Substratos com alta porosidade podem absorver uma maior quantidade de água e causar uma hidratação inadequada do ligante da argamassa (DÉTRICHÉ *et al.* apud POVOAS, JOHN, CINCOTTO, 1999), sendo a aderência prejudicada (BREA, 2003).

De acordo com Veiga (1998), para que ocorra uma boa aderência mecânica dos rebocos aos suportes, estes devem ter uma sucção média e uniforme. Segundo a pesquisadora, demasiada capacidade de absorção pode ser desfavorável por tender a dessecar rapidamente o revestimento, impedindo a hidratação dos seus constituintes e favorecendo a formação de uma interface pulverulenta; uma sucção reduzida do suporte dificulta a penetração da calda e da própria argamassa entre os poros e rugosidades deste.

Botas, Veiga e Velosa (2014) verificaram que no caso de aderência de azulejos antigos aos substratos, a análise dos resultados mostrou que há um teor de umidade específica na interface, que maximiza a adesão azulejo-argamassa, de forma que, ultrapassando esse valor, a quantidade de água disponível na interface é excessiva e compromete a conexão.

No caso de blocos de concreto, o pré-umedecimento pode ter regularizado a absorção do substrato, aumentando os níveis de aderência. Ao analisar estes últimos resultados por ANOVA (Apêndice H.2), observa-se que, majoritariamente, não há diferenças estatisticamente significativas entre pré-umedecer ou não a base nos resultados de resistência de aderência dos revestimentos em pasta de gesso aplicados em blocos de concreto.

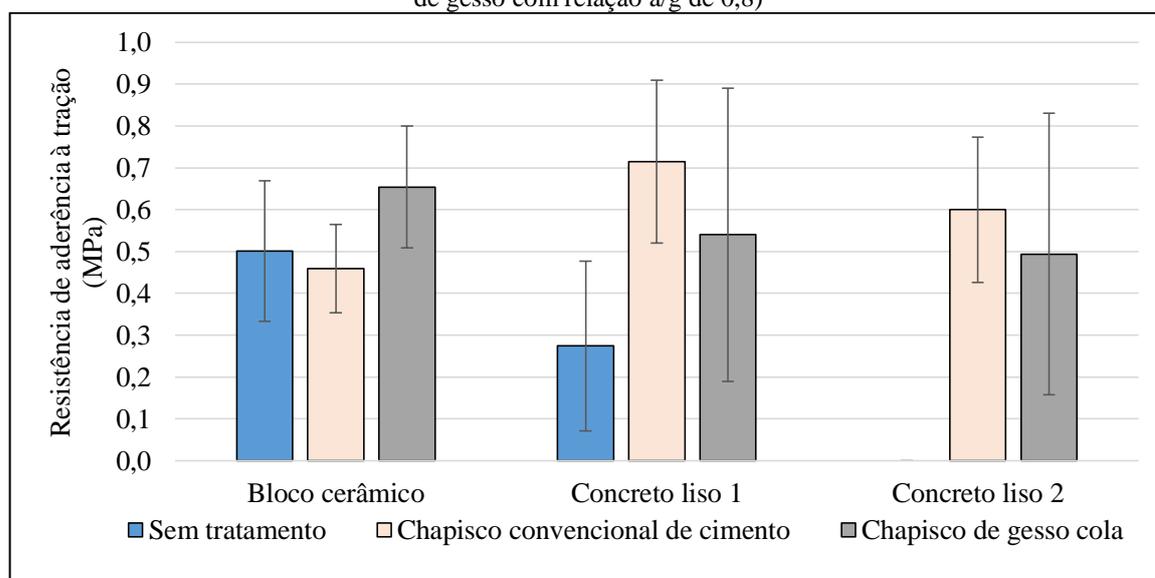
Pode-se inferir que o pré-umedecimento acentuou as diferenças de absorção entre as bases de bloco cerâmico e de bloco de concreto, de modo que a aderência apresentou comportamento dependente também, do teor de umidade na base no momento da aplicação do revestimento. Ou seja, o comportamento da resistência de aderência dos revestimentos à base é dependente do teor de umidade dela. A partir do estudo, verifica-se que a eficácia do pré-umedecimento é função do grau de absorção da base e do grau de umedecimento. Para o bloco cerâmico, a

recomendação geral é de não pré-umedecer; para o bloco de concreto, recomenda-se o pré-umedecimento de 0,5%.

#### 4.1.3 Influência da camada de ancoragem na base

Os sistemas de revestimento com bases de bloco cerâmico e de concreto liso foram avaliados sem tratamento da base e com dois tipos de camadas de ancoragem: chapisco convencional de cimento e chapisco de gesso cola. Os resultados de resistência de aderência separados por tipo de base para o traço 2 ( $a/g = 0,8$ ) são apresentados na Figura 61.

Figura 61 – Resultados de resistência de aderência à tração para cada base em função de cada tratamento (pasta de gesso com relação  $a/g$  de 0,8)



Fonte: Autora, 2021.

Verifica-se que, majoritariamente, o tratamento da base com chapisco convencional de cimento ou com gesso cola repercutiu em um ganho de resistência de aderência. Para o caso do bloco cerâmico, o preparo da base com chapisco convencional de cimento repercutiu em uma queda de 8% do valor da resistência de aderência em relação à base sem tratamento. Contudo, essa diferença não é estatisticamente significativa, verificada por ANOVA. Em 93% das rupturas ocorreram por falha de aderência do chapisco ao substrato, sendo somente 3% por falha de aderência do revestimento ao chapisco. Esse comportamento de rupturas corrobora com os resultados obtidos por Sousa, Almeida e Almeida (2015). Diante desse contexto, verifica-se que, para esse sistema de revestimento, o chapisco não produziu benefícios. Dadas as características superficiais dos blocos cerâmicos (textura e estrutura de poros) somadas às características do chapisco (composição), o chapisco convencional de cimento não apresentou ancoragem ao bloco cerâmico superior à da pasta de gesso ao substrato cerâmico.

A aplicação de chapisco de gesso cola no bloco cerâmico acarretou um aumento da resistência de aderência de 30,5% em relação à base sem tratamento. A análise por ANOVA e T de Student, que pode ser visualizada no Apêndice H.4, permite verificar que a aplicação do chapisco de gesso cola é estatisticamente significativa em relação aos sistemas de bloco cerâmico sem tratamento da base.

Quanto à base de concreto 1 (menor resistência), verifica-se um ganho de até 260%, com a aplicação do chapisco convencional de cimento, e de 97%, com aplicação do chapisco de gesso cola. A resistência de aderência do sistema de revestimento com substrato de concreto liso 1 apresentou resistência de aderência média de 0,27 MPa, mas alguns corpos de prova (33,33%) apresentaram resistência de aderência à tração inferior a mínima requisitada por norma, que é de  $\geq 0,2$  MPa.

A base de concreto 2 sem tratamento apresentou valor de resistência de aderência nulo. Para o sistema de revestimento com aplicação do chapisco convencional de cimento, a resistência de aderência à tração média foi de 0,6 MPa, superior àqueles com aplicação de chapisco de gesso cola, com valor de 0,49 MPa.

Para as bases de concreto, o ganho de resistência de aderência foi significativo em comparação ao comportamento dos sistemas sem tratamento, verificado por análise estatística ANOVA. O ganho de resistência de aderência foi ainda maior para os sistemas com chapisco convencional de cimento. Pode-se inferir que isso está associado à maior compatibilidade de materiais da base com o chapisco convencional de cimento, que são feitos com materiais de mesma natureza (cimento e agregados), apresentando mesmas características químicas e físicas. Os materiais dos sistemas de revestimento devem apresentar boa compatibilidade em todos os aspectos (ABCP, 2002; IOPPI, 1995; SILVA, 2013).

O ganho de resistência de aderência foi ainda maior nas bases no concreto liso 1 em comparação ao concreto liso 2, sendo possível inferir que isso está associado à estrutura de poros e textura superficial distinta para os dois materiais, que apresentam mesmos constituintes com alteração somente da dosagem.

Com a aplicação dos chapiscos nas bases de concreto 1 e 2, ambos passaram a apresentar superfície com características semelhantes entre si. Foi realizada uma análise para verificação das diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas com mesmo tratamento, mas com bases diferentes (concreto liso 1 e 2), por meio de ANOVA, e verificou-se que, com

aplicação do chapisco, não há diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas com bases com diferentes resistências. É importante destacar que se deve realizar um estudo do tipo de ruptura para complementar a análise (ver tópico 4.1.5).

De acordo com Ribar e Dubovoy (1988), a textura da superfície do tijolo é o principal fator no desenvolvimento da resistência da união. Bases com maior rugosidade superficial apresentam uma maior área de contato entre estas e o revestimento, o que pode acarretar um maior transporte de água da argamassa fresca para o interior dos poros do suporte (GASPAR, 2011), aumentando um intertravamento mecânico. Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com afirmações dos pesquisadores na literatura, que destacam o acréscimo de aderência com alteração da rugosidade (COSTA, 2007; GASPAR, 2011; LEAL, 2003; SOUSA, ALMEIDA, ALMEIDA, 2015). O efeito da rugosidade ainda não está elucidado em sistemas de revestimento em pasta de gesso, necessitando de mais estudos. Ao aplicar uma camada de ancoragem à base, surge um novo mecanismo de aderência que precisa ser estudado: base-chapisco.

É importante destacar que o monossulfoaluminato, presente no cimento hidratado, pode se converter em trissulfoaluminato de cálcio na presença de íons  $\text{SO}_4^{2-}$  derivados do gesso, formando produtos expansivos semelhantes à etringita. Desse modo, a utilização de chapisco convencional de cimento em sistemas de revestimento em pasta de gesso precisa ser melhor estudada.

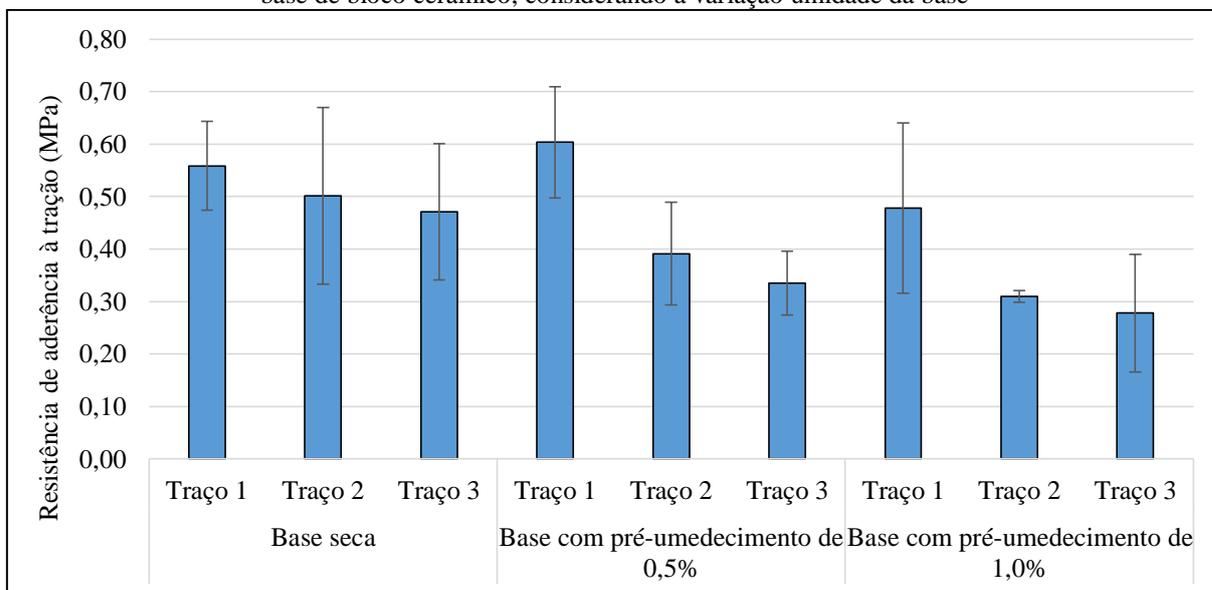
#### **4.1.4 Influência da relação água/gesso**

As Figuras 62 e 63 apresentam a resistência de aderência para os sistemas de revestimento à base de pasta de gesso em substratos de bloco cerâmico e bloco de concreto, respectivamente, executados com os traços 1, 2 e 3, para cada teor de umidade da base.

Na Figura 62, verifica-se que todos os traços executados com maior relação a/g têm redução da resistência da aderência, independente do seu pré-umedecimento. Para 66,67 % dos pares de comparação de sistemas de revestimento com relação a/g de 0,6, 0,8 e 1,0, há diferenças estatisticamente significativas para as resistências de aderência dos traços com diferentes dosagens, excetuam-se desses BCE-SEC-SCH-PGE0,6, BCE-SEC-SCH-PGE0,8 e BCE-SEC-SCH-PGE1,0 (pasta de gesso em base cerâmica seca com a/g de 0,6, 0,8 e 1,0), que não foi significativo com aumento da relação a/g. Todavia, mesmo para um maior teor de água, a

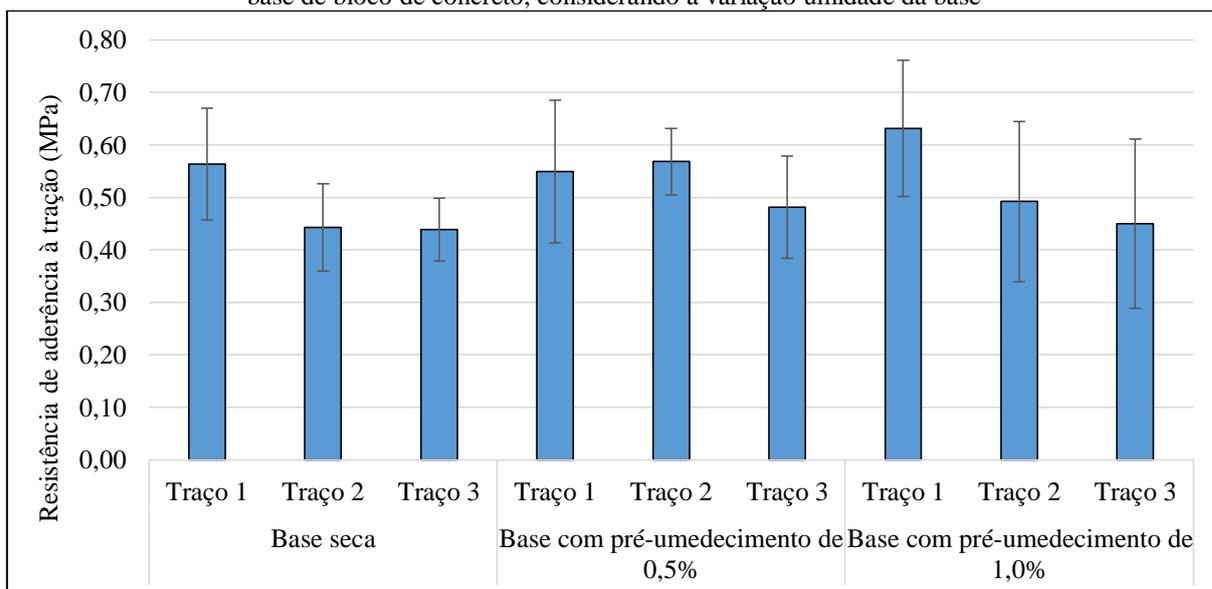
resistência de aderência mínima de 0,2 MPa é atingida. As análises estatísticas por ANOVA da avaliação da influência da relação a/g podem ser visualizadas no Apêndice H.3.

Figura 62 - Resistência de aderência de pastas de gesso em função do traço para sistemas de revestimento com base de bloco cerâmico, considerando a variação umidade da base



Fonte: Autora, 2021.

Figura 63 - Resistência de aderência de pastas de gesso em função do traço para sistemas de revestimento com base de bloco de concreto, considerando a variação umidade da base



Fonte: Autora, 2021.

Para o substrato de bloco de concreto, a partir da Figura 63, a tendência geral de comportamento foi semelhante aos sistemas com base de bloco cerâmico, exceto para a base com pré-umedecimento de 0,5%, com traço 2, que apresentou um aumento de 3,64% da resistência de aderência em relação ao traço 1, mas esse aumento não foi significado, constatado por ANOVA.

Comparativamente, as resistências de aderências à tração são maiores para os substratos de bloco de concreto que os de bloco cerâmico.

A perda de propriedades mecânicas, como resistência à compressão e tração na flexão e dureza, nos pares de traços com relações a/g de 0,6, 0,8 e 1,0 é verificada, conforme pode ser observada na Tabela 23. O aumento do teor de água causa queda das propriedades mecânicas devido a alteração da sua microestrutura: cristais maiores e menos resistentes e estrutura mais porosa. Essa perda de propriedades mecânicas é verificada também quando se analisa a resistência de aderência à tração dos diversos sistemas de revestimento executados com as pastas com diferentes relações a/g.

Tabela 23 – Resumo das características dos traços e suas propriedades mecânicas

Traço	Traço		Gesso (%)	Água (%)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à tração na flexão (MPa)	Dureza (N/mm <sup>2</sup> )
	Gesso	a/g					
0	1	0,48	67,57	32,43	17,80 ± 0,49	-	58,44 ± 4,73
1	1	0,60	62,50	37,50	10,78 ± 0,71	7,57 ± 0,14	30,90 ± 1,89
2	1	0,80	55,56	44,44	5,39 ± 0,49	3,68 ± 0,21	14,69 ± 0,67
3	1	1,00	50,00	50,00	2,58 ± 0,24	1,89 ± 0,14	5,23 ± 0,19

Fonte: Autora, 2021.

A partir da verificação das diferenças de resistência de aderência à tração em função das distintas dosagens das pastas, investigou-se quais características associadas aos revestimentos que causam alterações. Avaliou-se a relação das resistências à compressão e tração na flexão com a resistência de aderência. Espera-se que os gráficos que correlacionam a resistência de aderência e as propriedades mecânicas (resistência à compressão, resistência à tração na flexão e dureza) tenham o mesmo comportamento, uma vez que a diminuição do teor de ligante repercutiu numa queda de todas as propriedades mecânicas.

A análise ficou limitada às bases de bloco cerâmico e as bases de bloco de concreto com pré-umedecimento de 1%, que apresentaram ruptura majoritariamente na interface pasta/substrato, ou seja, ruptura adesiva. Nas demais bases de bloco de concreto, a ruptura foi coesiva, de modo que o valor da aderência da pasta ao substrato não foi determinado, sendo superior ao valor obtido no ensaio.

Nas Figuras 64 e 65, são apresentadas as relações entre a resistência à compressão e a resistência de aderência média das bases cerâmicas e de bloco de concreto, respectivamente. Nas Figuras 66 e 67, podem ser observadas as relações entre a resistência à tração na flexão e a resistência de aderência média das bases cerâmicas e de bloco de concreto, respectivamente. As relações

entre resistência à tração na flexão e a resistência de aderência média das bases cerâmicas e de bloco de concreto são apresentadas nas Figuras 68 e 69, respectivamente.

Figura 64 – Resistência de aderência média nas bases cerâmicas em função da resistência à compressão

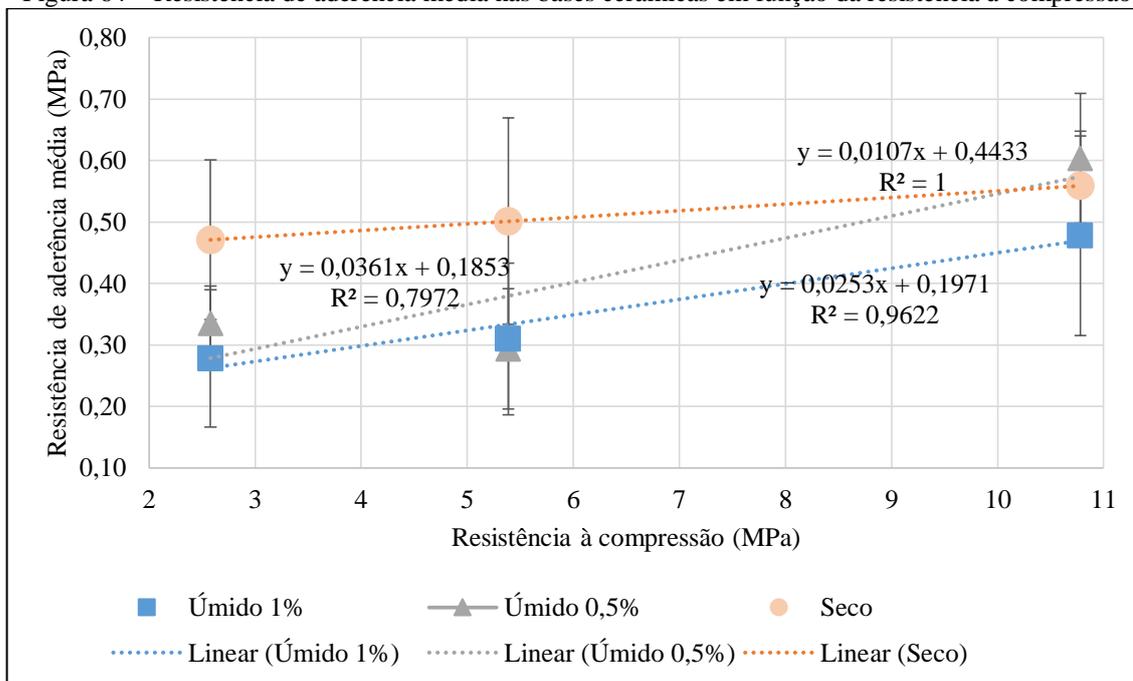


Figura 65 – Resistência de aderência média nas bases de bloco de concreto em função da resistência à compressão

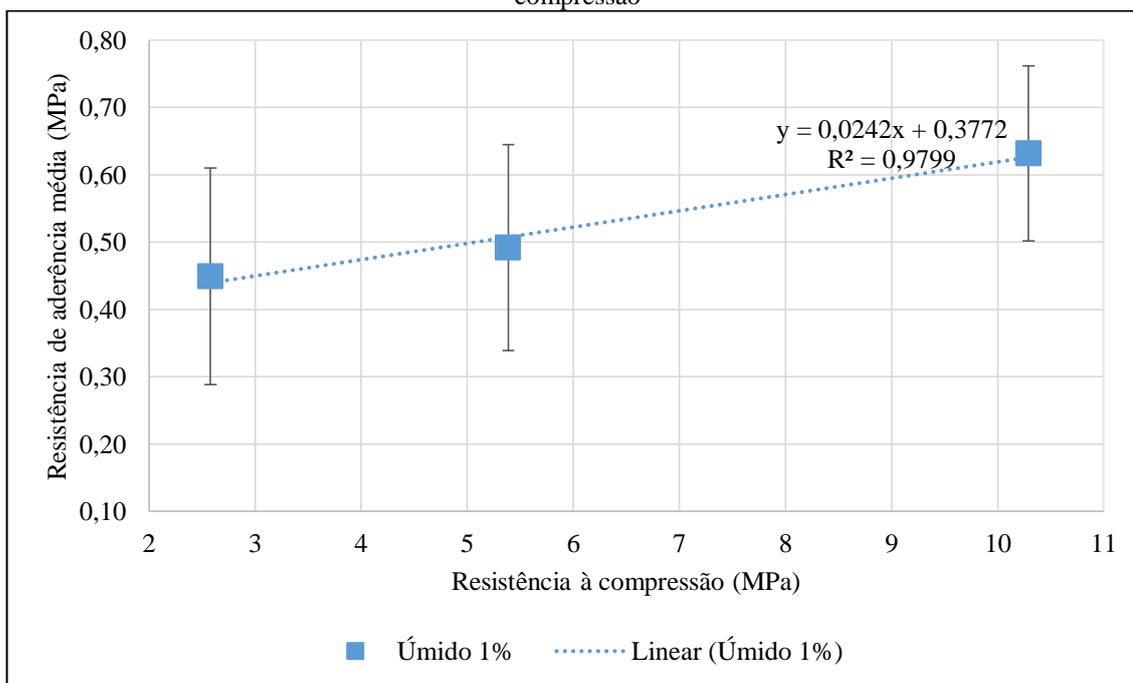
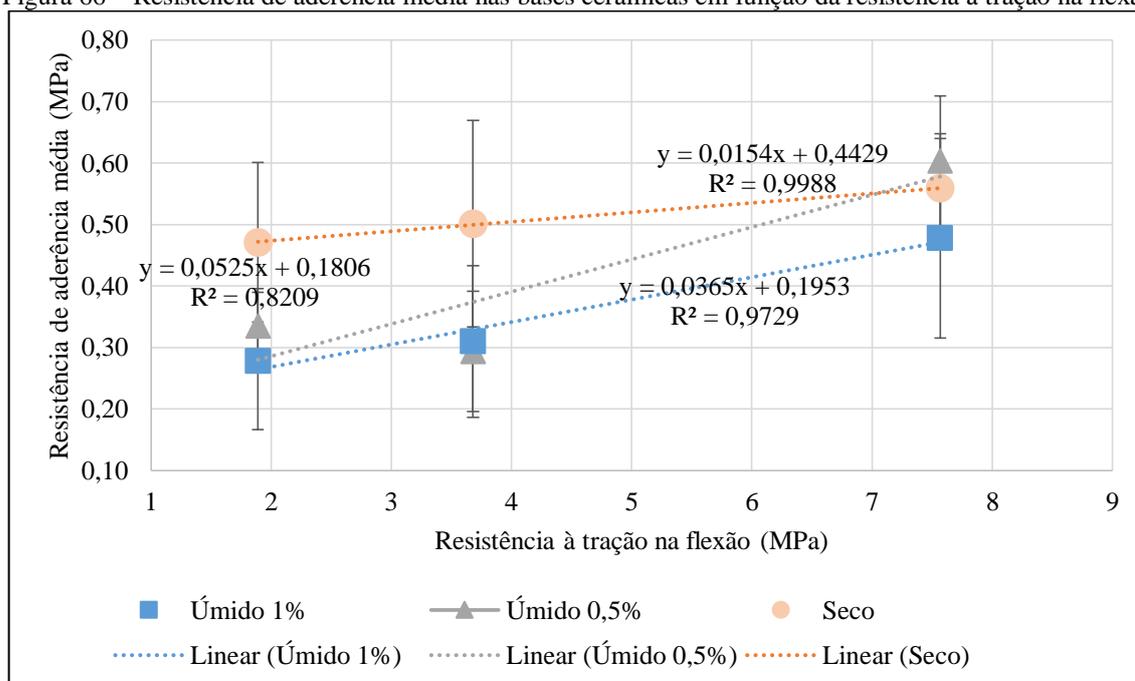
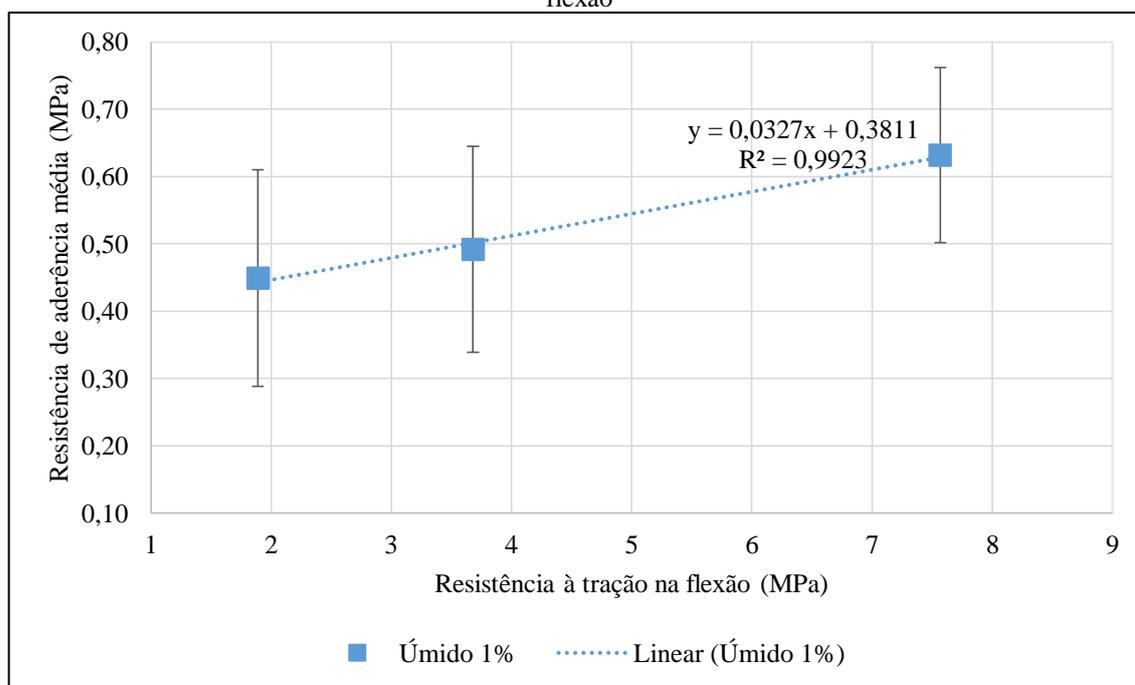


Figura 66 – Resistência de aderência média nas bases cerâmicas em função da resistência à tração na flexão



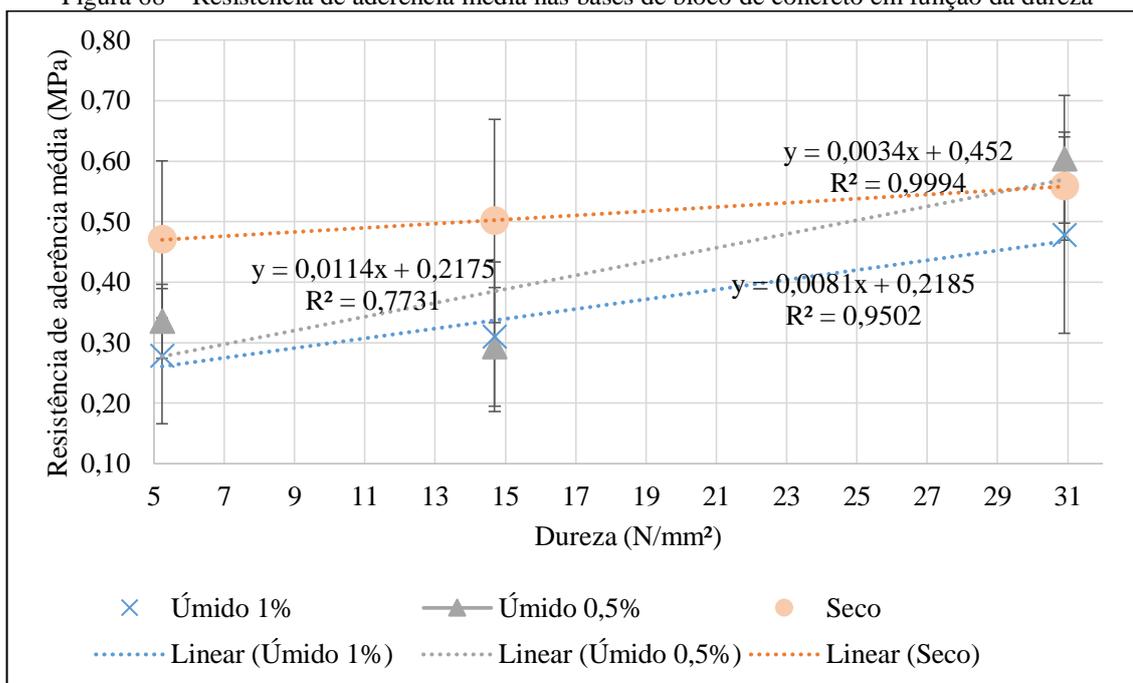
Fonte: Autora, 2021.

Figura 67 – Resistência de aderência média nas bases de bloco de concreto em função da resistência à tração na flexão



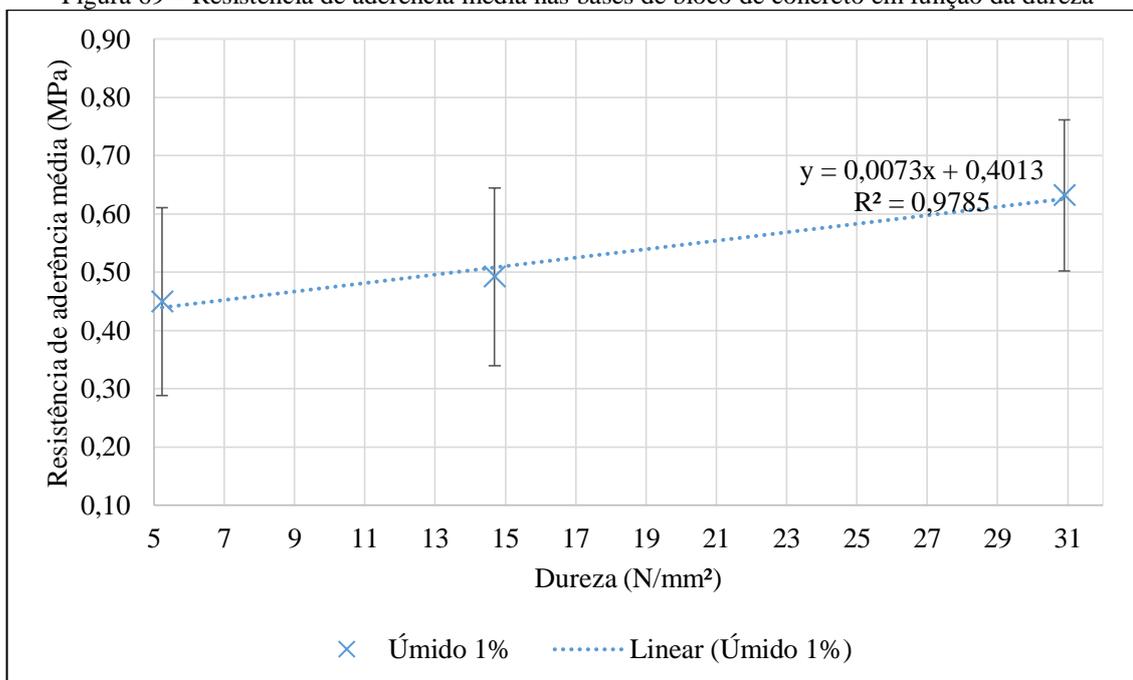
Fonte: Autora, 2021.

Figura 68 – Resistência de aderência média nas bases de bloco de concreto em função da dureza



Fonte: Autora, 2021.

Figura 69 – Resistência de aderência média nas bases de bloco de concreto em função da dureza



Fonte: Autora, 2021.

Observa-se uma tendência de aumento da resistência de aderência com aumento da resistência à compressão das pastas, resistência à tração na flexão e dureza, independentemente do tipo de base e do pré-umedecimento. Os melhores ajustes lineares foram obtidos para a base seca e com pré-umedecimento de 1%. Contudo, para todos parece haver uma correlação forte (coeficiente de correlação de Pearson  $r$ ).

As alterações de propriedades mecânicas dos traços de acordo com sua composição são coerentes, de modo que elas reduzem com o aumento do teor de água da mistura, conforme é apresentado na Tabela 23. De acordo com Silva (2010), se a relação for inferior a 0,6, há dificuldades com a trabalhabilidade. Para razões maiores que 0,6, tem-se um aumento da porosidade do produto final endurecido perdendo resistência mecânica. A grande variação dos resultados de resistência de aderência dificulta a determinação de um comportamento bem definido. Espera-se a queda de resistência de aderência com o aumento da relação a/g, uma vez que a pasta se torna menos resistente e mais porosa tanto na sua parte interna quanto na interface pasta/substrato, que facilita a ruptura.

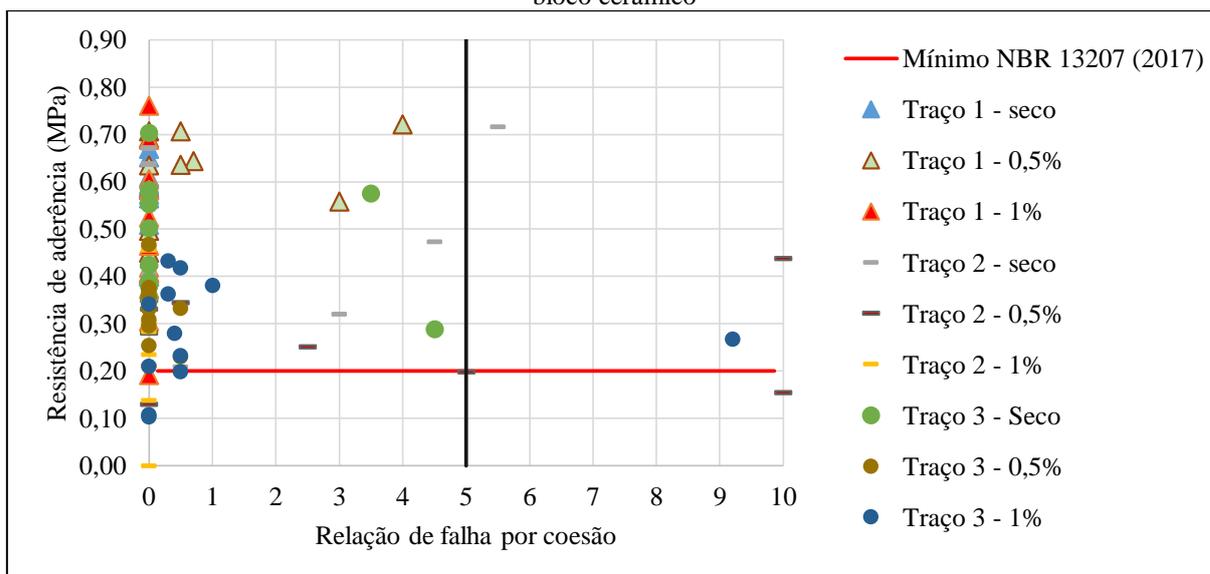
Não são encontrados estudos na literatura que investiguem tais relações com pastas à base de gesso. Em argamassas de cimento, Carasek (1996) também verificou essa leve tendência diretamente proporcional entre a resistência à compressão e a de aderência, ora modelado por equações lineares ora por equações logarítmicas, contudo nem sempre pode ser modelado através dessas regressões. Para a resistência à tração na flexão, a pesquisadora encontrou correlação para alguns casos estudados.

#### **4.1.5 Tipo de ruptura**

O tipo de ruptura foi um dos fatores analisados. Para isso, recorreu-se ao método de otimização de quadrantes descrito na fundamentação teórica (ver tópico 2.3.4). Nas Figuras 70, 71, 72 e 73, são apresentados os tipos de ruptura para cada corpo de prova considerando falha por coesão da pasta ou do substrato ou falha por aderência da pasta ao substrato, com os seus respectivos valores de resistência de aderência, em bases cerâmicas sem chapisco, de bloco de concreto, de concreto e bloco cerâmico com chapisco.

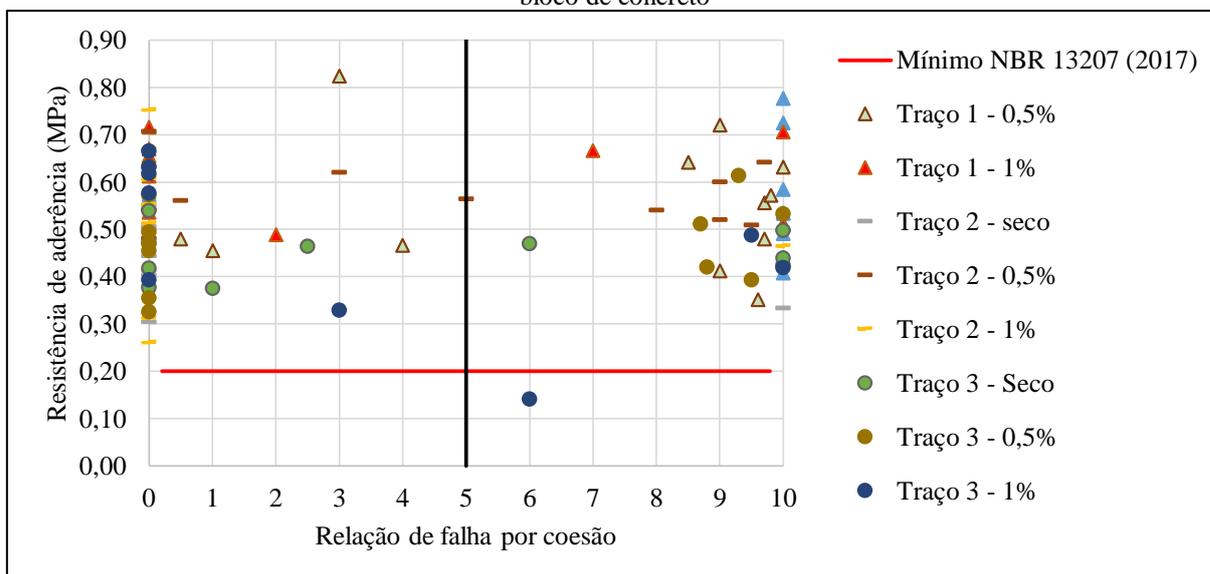
Quando a ruptura resultante do ensaio da NBR 13528-2 (2019f) não ocorre na interface do revestimento com o substrato, significa que a resistência de aderência a tração não foi determinada e é superior ao valor obtido no ensaio. A falha por coesão do substrato indica que a aderência foi superior à resistência à tração do material da base; enquanto que a falha por coesão da pasta demonstra que a aderência foi superior à resistência à tração da pasta.

Figura 70 – Resistência de aderência à tração em função do tipo de falha para cada corpo de prova em base de bloco cerâmico



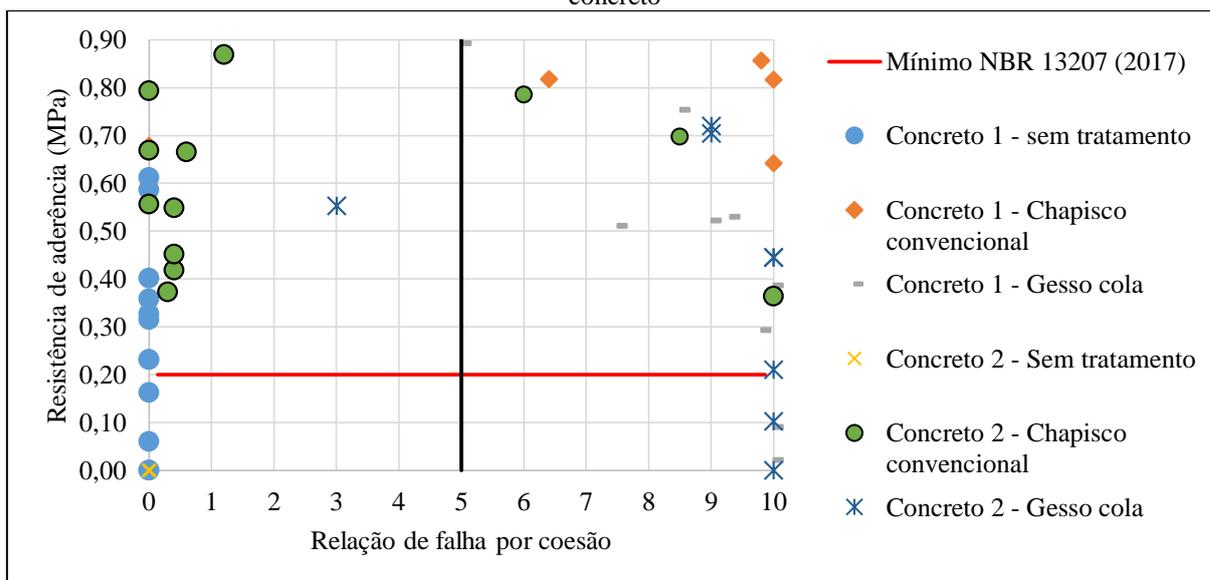
Fonte: Autora, 2021.

Figura 71 – Resistência de aderência à tração em função do tipo de falha para cada corpo de prova em base de bloco de concreto



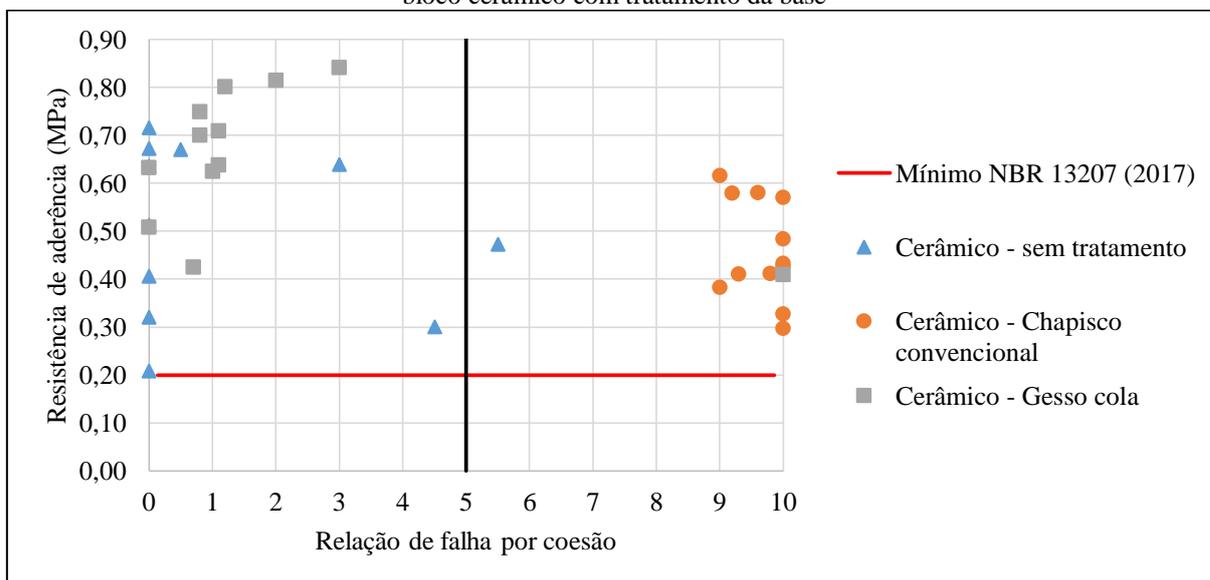
Fonte: Autora, 2021.

Figura 72 – Resistência de aderência à tração em função do tipo de falha para cada corpo de prova em base de concreto



Fonte: Autora, 2021.

Figura 73 – Resistência de aderência à tração em função do tipo de falha para cada corpo de prova em base de bloco cerâmico com tratamento da base



Fonte: Autora, 2021.

A partir da Figura 70, pode-se verificar que a ruptura nos sistemas de revestimentos em blocos cerâmicos é majoritariamente adesiva (média de, aproximadamente, 92%). Possivelmente, esse comportamento está associado ao aspecto liso da superfície de bloco de cerâmico, que dificulta o intertravamento da pasta. Verifica-se uma leve tendência de aumento da ruptura por coesão da pasta de gesso com o aumento da relação a/g para os sistemas com o mesmo tratamento da base. Este resultado é coerente, pois a pasta de gesso apresenta uma redução da resistência mecânica com o aumento da relação a/g. Não foi determinado um comportamento definido da

resistência de aderência do sistema de revestimento a base de gesso com alteração do teor de umidade da base. Dos nove sistemas de revestimento de bloco cerâmico analisados, sendo, doze corpos de prova para cada sistema, somente seis corpos de prova não atenderam a resistência de aderência mínima requisitada na NBR 13207 (2017a) de 0,2 MPa, sendo destes cinco corpos de prova com falha adesiva e quatro desses do sistema de revestimento com pré-umedecimento de 1%.

A avaliação da Figura 71 permite comparar os tipos de ruptura do sistema de revestimento em blocos cerâmicos e de bloco de concreto. As rupturas nos sistemas de revestimentos em blocos de concreto se dão parte por ruptura adesiva e outra parte por ruptura coesiva, sendo esta última majoritária por falha do substrato. Isso está associado às características dos substratos em bloco de concreto: textura mais rugosa que facilita o intertravamento mecânico na superfície. Foi verificada uma leve tendência de aumento da ruptura por coesão do gesso quando se aumenta a relação a/g e não foi determinado um comportamento da ruptura no ensaio de resistência de aderência em função do pré-umedecimento da base. Somente um corpo de prova (pré-umedecimento de 1% e traço 3) dos nove sistemas analisados não atendeu a resistência mínima.

Para sistemas de revestimento com base de concreto (Figura 72), quando não houve tratamento da base como uma camada de ancoragem (chapisco), a ruptura ocorreu somente na interface substrato-pasta, dada as características superficiais do concreto, independente da resistência da base. Em sistemas de base de concreto com camada de ancoragem de cimento, as rupturas em sua maior parte ocorreram na interface chapisco-pasta (55,5%). Em sistemas de base de concreto com camada de ancoragem de gesso cola, as rupturas em sua maior parte ocorreram na interface substrato-gesso cola (47,5%). Essas formas de ruptura estão associadas à compatibilidade dos materiais dentro de cada sistema: chapisco de cimento é mais compatível com o concreto da base e o chapisco de gesso cola é mais compatível com o gesso da pasta.

A partir da Figura 73, pode-se verificar o tipo de ruptura nas bases de bloco cerâmico com chapisco convencional de cimento e chapisco de gesso cola. Um total de 93% das rupturas dos sistemas de revestimento em bloco cerâmico com chapisco convencional de cimento ocorreu na interface substrato-chapisco. Neste caso, como chapisco é constituído por cimento e agregado miúdo, apresentou uma dificuldade de ancorar no substrato cerâmico. No sistema de revestimento com chapisco de gesso cola, 82% das rupturas ocorreram na interface chapisco-pasta de gesso. O chapisco de gesso cola aderiu melhor ao substrato cerâmico que o chapisco

convencional de cimento. Essa conclusão pode ser obtida a partir das análises dos valores de resistência de aderência à tração desses dois últimos sistemas de revestimentos, onde os valores obtidos pelo sistema com chapisco de gesso cola são superiores em mais de 41% àqueles de chapisco de cimento.

Há necessidade de um maior estudo na utilização do gesso cola como camada de ancoragem, de modo a estudar seu mecanismo de aderência. Pode-se sugerir que o gesso cola apresenta aditivos adesivos que possibilitam boa aderência à superfície que foi aplicada.

Comparativamente, as maiores aderências são alcançadas nas bases de bloco concreto. De modo geral, verifica-se que o tipo de base é um dos fatores que mais influencia na forma de ruptura, onde, nas bases cerâmicas, a ruptura ocorre por falha adesiva, e, nos blocos de concreto, podem ocorrer rupturas mistas a depender do traço e do pré-umedecimento da base.

#### 4.2 EXTENSÃO DE ADERÊNCIA

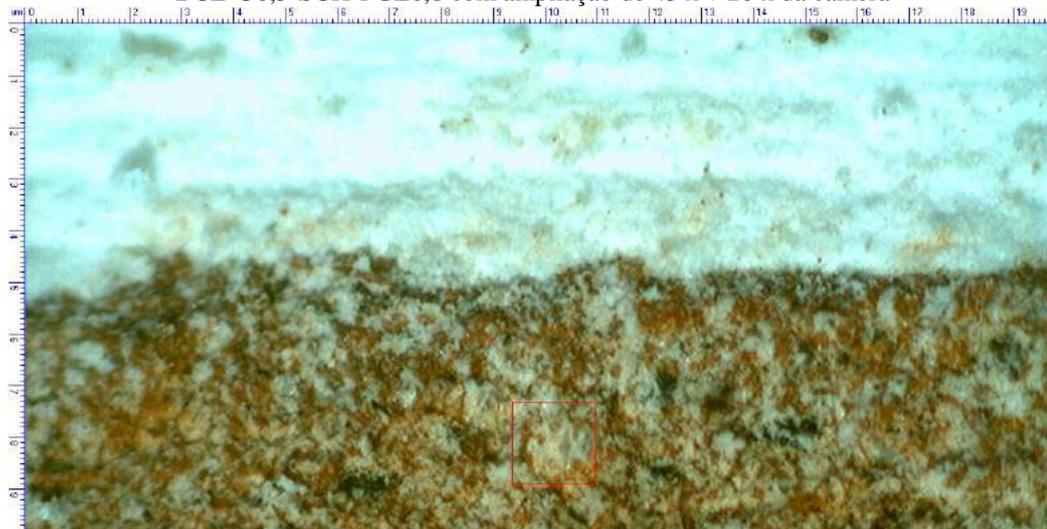
As interfaces foram analisadas em lupa estereoscópica com aumento até 45 x, com uma câmera fotográfica acoplada que permite ampliação de 20 x. Para o sistema PC2-SEC-SCH-PGE0,8, não foi possível a coleta de amostras para análise, devido ao deslocamento do revestimento. Foram selecionados alguns sistemas de revestimento para serem apresentados no presente tópico, conforme exposto nas Figuras 74 a 78; demais imagens estão apresentadas no Apêndice I. O material mais esbranquiçado é o revestimento em pasta de gesso e outro material em contato é o substrato do sistema.

Figura 74 – Imagem de lupa estereoscópica com ampliação de 45 x + 20 x da câmera da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8



Fonte: Autora, 2021.

Figura 75 – Imagem de lupa estereoscópica da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,8 com ampliação de 45 x + 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura 76 – Imagem de lupa estereoscópica da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede BCE-SEC-CHC-PGE0,8 com ampliação de 45 x + 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura 77 – Imagem de lupa estereoscópica da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,8 com ampliação de 45 x + 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura 78 – Imagem de lupa estereoscópica da interface do sistema de revestimento em pasta de gesso – parede PC1-SEC-SCH-PGE0,8 com ampliação de 45 x + 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

O que se verifica é que o contato entre o revestimento e a base ocorre em, aproximadamente, 100% do comprimento de contato. Ao considerar os níveis de extensão de aderência sugeridos por Carasek (1996), conforme apresentado na Tabela 24, pode-se afirmar que o nível de extensão de aderência é 10, independentemente do tipo de traço, base e do tratamento da base.

Tabela 24 – Níveis de extensão de aderência

Nível	Extensão de aderência	Nível	Extensão de aderência
1	0 a 10 %	6	51 a 60 %
2	11 a 20 %	7	61 a 70 %
3	21 a 30 %	8	71 a 80 %
4	31 a 40 %	9	81 a 90 %
5	41 a 50 %	10	91 a 100 %

Fonte: CARASEK, 1996.

Vazios no contato raramente ocorrem e não há uma localização bem definida na base. As ondulações propositalmente conferidas aos blocos cerâmicos, de cerca de 2 mm, para aumentar a extensão a área de contato do revestimento com a base não causaram deficiência na penetração da pasta e conseqüentemente, não reduziram a extensão de aderência, como ocorre em argamassas de cimento, já mencionado por Carasek (1996) e Polito, Carvalho Júnior e Brandão (2010). Carasek (1996) encontrou grande variação dos níveis de aderência (6 a 10) a depender do traço da argamassa e da base e sua umidade. Nessa situação, as argamassas à base de cimento diferem das pastas de gesso.

No presente estudo, as pastas são compostas somente por ligante, o que favoreceu a extensão de aderência. Não são verificadas alterações na extensão de aderência associadas a alterações do tipo de base, do traço (relação a/g), pré-umedecimento da base e utilização de camada de ancoragem (chapisco).

A reação de hidratação do gesso se processa com um aumento de volume, da ordem de 0,03 a 0,15% a depender do tipo de gesso (PERES, BENACHOUR, SANTOS, 2008; GARTNER, 2009). Para Peres *et al.* (2008) e John e Cincotto (2007), essa expansão é uma das características que torna o gesso um excelente material para moldagem, já que a expansão o força a preencher todas as fendas e detalhes das matrizes ou moldes. Essa característica favorece o contato da pasta de gesso com todas as saliências e reentrâncias presentes nas superfícies a serem revestidas com pasta de gesso, garantindo uma boa extensão de aderência.

É importante salientar que na produção do revestimento com base em gesso, o pó é misturado a água e, imediatamente após isso, a mistura fica bastante fluida. Somente após ter obtido a trabalhabilidade adequada, é aplicada; momento próximo ao tempo de início de pega. Essa trabalhabilidade também assegura uma boa extensão de aderência.

Mais imagens da região de contato dos materiais no sistema de revestimento podem ser observadas no Apêndice I.

#### 4.3 MICROESTRUTURA DA INTERFACE REVESTIMENTO/SUBSTRATO

Neste tópico, são apresentados e discutidos os aspectos verificados através das análises das amostras dos sistemas de revestimentos por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectrômetro de dispersão de energia (EDS). Nem todas os sistemas de revestimento estudados

por meio da resistência de aderência à tração foram analisados nesta etapa devido a limitações de materiais necessários às análises.

Os sistemas de revestimento analisados por MEV são listadas no Quadro 9. Em algumas amostras, foram observadas a interface de união substrato-revestimento, outras a face do bloco que esteve em contato com o revestimento e outras ambas as regiões.

Quadro 9 – Paredes analisadas por MEV com EDS (continua)

Parede estudada/ nomenclatura	Variáveis				Amostras	Marca do equipamento
	Base	Tratamento da base	Composição dos traços			
			Traço	Teor de água		
BCE-SEC-SCH-PGE0,6	Cerâmico	Seco	Traço 1	a/g = 0,6	interface do sistema de revestimento e superfície do bloco em contato com revestimento	Tescan
BCE-U1,0 - SCH-PGE0,8	Cerâmico	Úmido 1%	Traço 2	a/g = 0,8	interface do sistema de revestimento e superfície do bloco em contato com revestimento	Tescan
BCE-U0,5 - SCH-PGE0,8	Cerâmico	Úmido 0,5%	Traço 2	a/g = 0,8	interface do sistema de revestimento	Tescan
BCE-SEC-SCH-PGE0,8	Cerâmico	Seco	Traço 2	a/g = 0,8	interface do sistema de revestimento e superfície do bloco em contato com revestimento	Tescan
BCE-SEC-SCH-PGE1,0	Cerâmico	Seco	Traço 3	a/g = 1,0	interface do sistema de revestimento	Hitachi TM-1000
BCO-SEC-SCH-PGE0,6	Bloco de concreto	Seco	Traço 1	a/g = 0,6	interface do sistema de revestimento	Tescan
BCO-U1,0-SCH-PGE0,6	Bloco de concreto	Úmido 1%	Traço 1	a/g = 0,6	superfície do bloco em contato com revestimento	Tescan

Quadro 9 – Paredes analisadas por MEV com EDS (conclusão)

Parede estudada/ nomenclatura	Variáveis				Amostras	Marca do equipamento
	Base	Tratamento da base	Composição dos traços			
			Traço	Teor de água		
BCO-SEC-SCH-PGE0,6	Bloco de concreto	Seco	Traço 1	a/g = 0,6	interface do sistema de revestimento	Tescan
BCO-U0,5-SCH-PGE0,8	Bloco de concreto	Úmido 0,5%	Traço 2	a/g = 0,8	interface do sistema de revestimento	Tescan
BCO-SEC-SCH-PGE0,8	Bloco de concreto	Seco	Traço 2	a/g = 0,8	interface do sistema de revestimento e superfície do bloco em contato com revestimento	Tescan
PC1-SEC-SCH-PGE0,8	Concreto de resistência 1	Seco	Traço 2	a/g = 0,8	interface do sistema de revestimento	Tescan
					superfície do bloco em contato com revestimento	Hitachi TM-1000
PC2-SEC-SCH-PGE0,8	Concreto de resistência 2	Seco	Traço 2	a/g = 0,8	superfície do substrato em contato com revestimento	Hitachi TM-1000
PC2-SEC-CHC-PGE0,8	Concreto de resistência 2	Seco com chapisco de cimento	Traço 2	a/g = 0,8	interface do sistema de revestimento	Tescan
PC2-SEC-CHG-PGE0,8	Concreto de resistência 2	Seco com chapisco de gesso	Traço 2	a/g = 0,8	interface do sistema de revestimento	Tescan

Fonte: Autora, 2021.

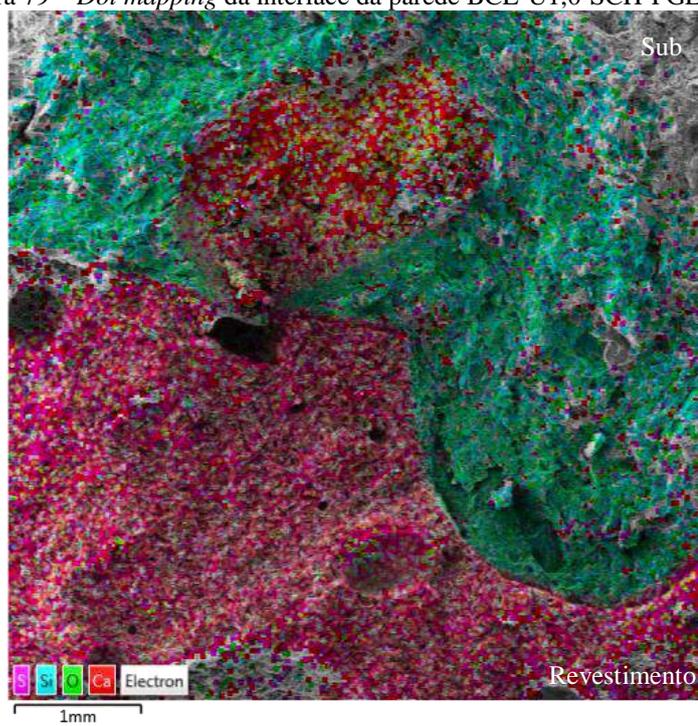
Na primeira parte do subitem, é apresentada uma discussão acerca da profundidade de penetração dos produtos formados na base. Em seguida, discute-se a morfologia dos produtos visualizados tanto na interface quanto na superfície de fratura do substrato, que esteve em contato com o revestimento, seguindo as duas frentes de trabalho apresentadas no Programa Experimental (ver tópico 3.2.3.7).

### 4.3.1 Penetração da pasta ligante no substrato

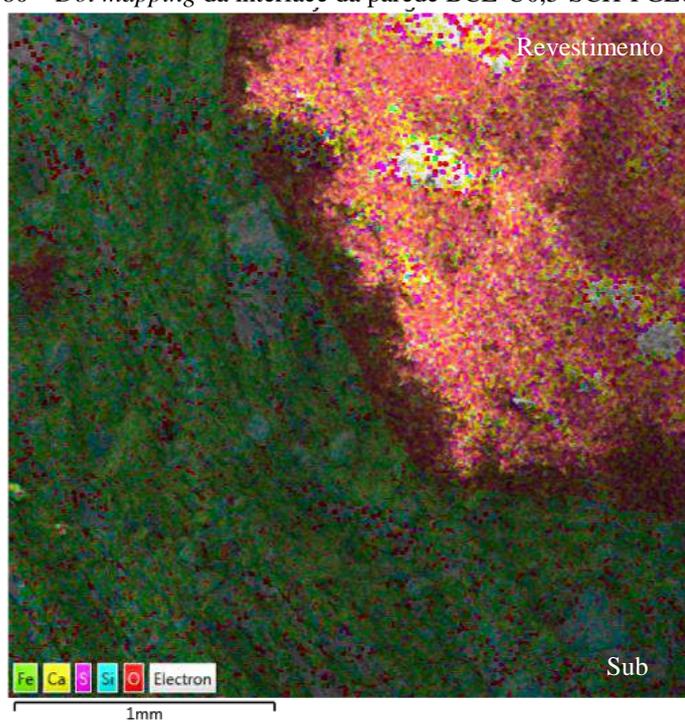
Para verificar se há penetração da pasta no substrato, analisou-se a natureza química das amostras da interface, por meio de um mapeamento da distribuição de elementos químicos (*dot mapping*). Somente as amostras de interface analisadas pelo equipamento de MEV Tescan é que foram possíveis de serem mapeadas.

O resultado do mapeamento químico das amostras das interfaces é apresentado nas Figuras 79 a 88. No Apêndice J, são apresentadas as imagens de *dot mapping* das amostras separadas por elemento químico. A olho nu, é possível identificar facilmente o revestimento de gesso e o substrato, sejam cerâmico, de bloco de concreto ou de concreto. Todavia, pelo MEV, em especial, pelo mapeamento químico, há certa dificuldade, uma vez que elementos presentes no gesso também estão presentes na base. Isso ainda é mais nítido na base de bloco de concreto, com os produtos cimentícios provenientes da hidratação do cimento. Essa semelhança de produtos do bloco cerâmico e do gesso pode ser constatada pelos resultados de fluorescência de raio X, nas Tabelas 3.6 e 3.2. Nos revestimentos, a predominância é de elementos cálcio, enxofre e oxigênio. Nas bases cerâmicas, o silício e o oxigênio, além de alumínio e ferro, e nas bases de bloco de concreto e no concreto, sabe-se que há silício, cálcio, alumínio e oxigênio, entre outros.

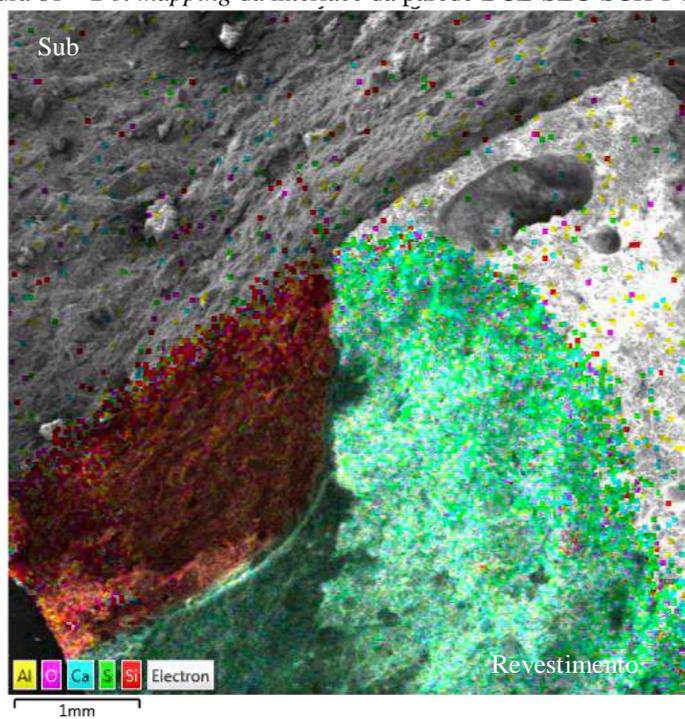
Não é possível mensurar a exata penetração dos produtos da pasta nos substratos por meio do *dot mapping* dada as pequenas dimensões das amostras das interfaces (< 1 cm), pela presença de elementos comuns nas duas bases e nos revestimentos e pela inexatidão da mensuração por EDS. Quanto a penetração do cálcio, não é possível mensurar pelo *dot mapping*, uma vez que é elemento comum tanto do substrato quanto do revestimento.

Figura 79 – *Dot mapping* da interface da parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8

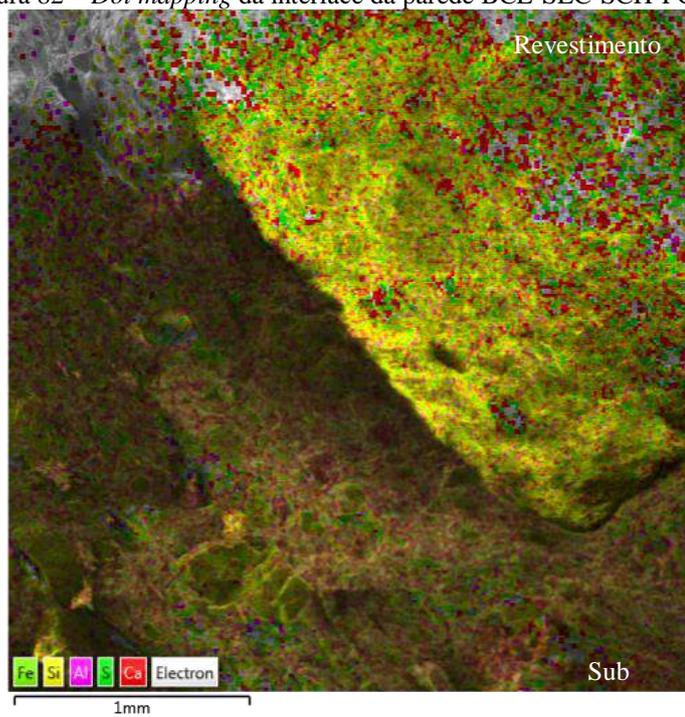
Fonte: Autora, 2021.

Figura 80 – *Dot mapping* da interface da parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,8

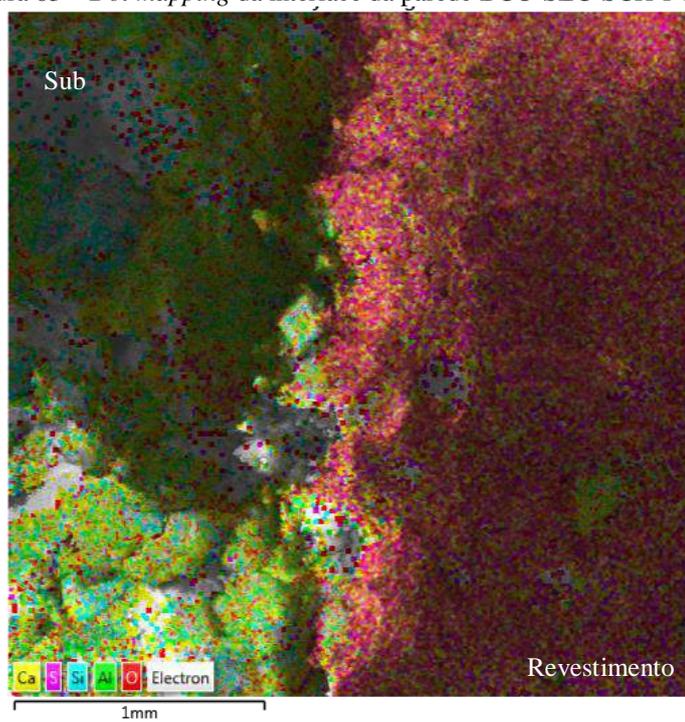
Fonte: Autora, 2021.

Figura 81 – *Dot mapping* da interface da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8

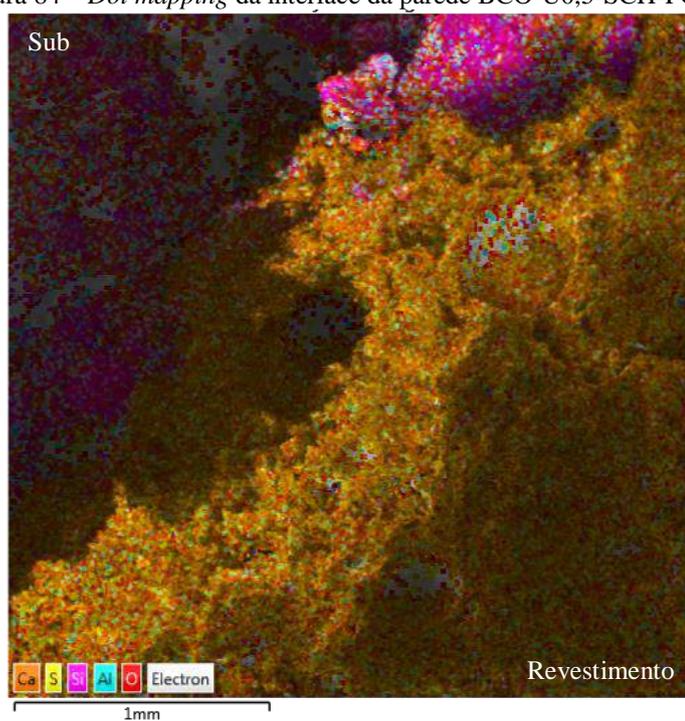
Fonte: Autora, 2021.

Figura 82 – *Dot mapping* da interface da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6

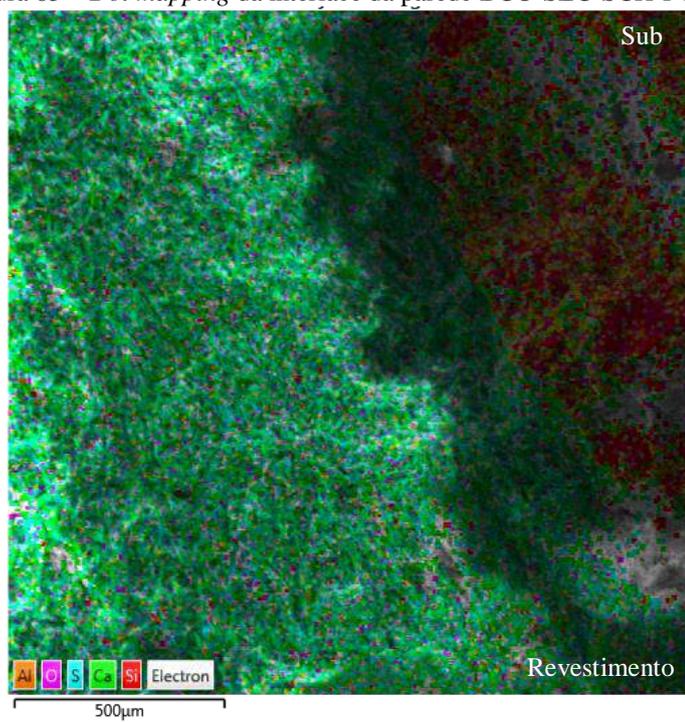
Fonte: Autora, 2021.

Figura 83 – *Dot mapping* da interface da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,6

Fonte: Autora, 2021.

Figura 84 – *Dot mapping* da interface da parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,8

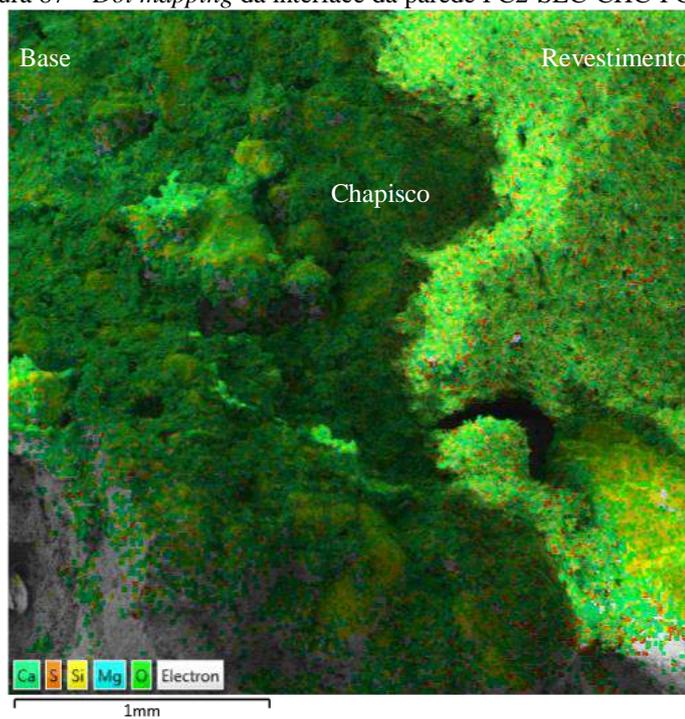
Fonte: Autora, 2021.

Figura 85 – *Dot mapping* da interface da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8

Fonte: Autora, 2021.

Figura 86 – *Dot mapping* da interface da parede PC1-SEC-CHG-PGE0,8

Fonte: Autora, 2021.

Figura 87 – *Dot mapping* da interface da parede PC2-SEC-CHC-PGE0,8

Fonte: Autora, 2021.

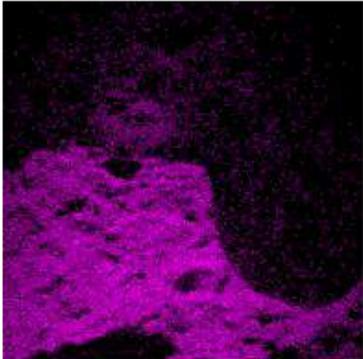
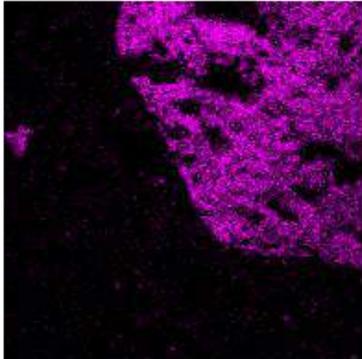
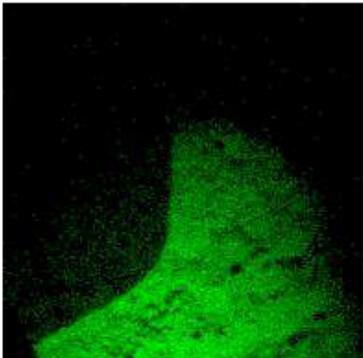
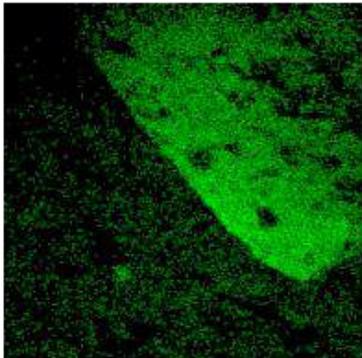
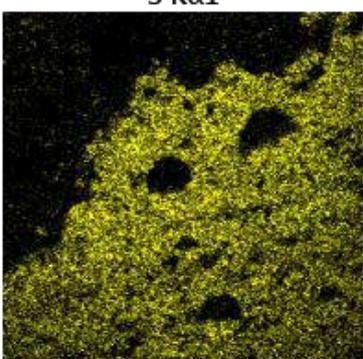
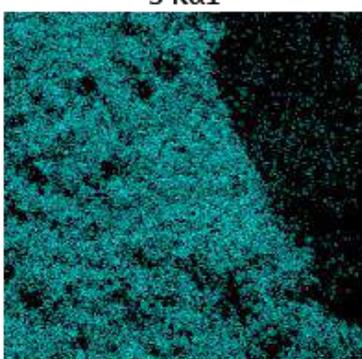
Figura 88 – *Dot mapping* da interface da parede PC2-SEC-CHG-PGE0,8

Fonte: Autora, 2021.

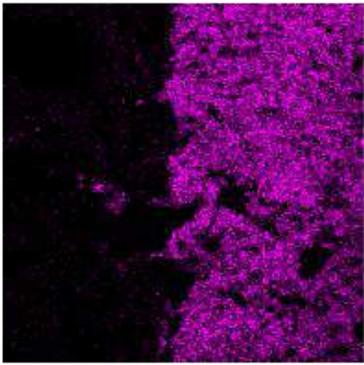
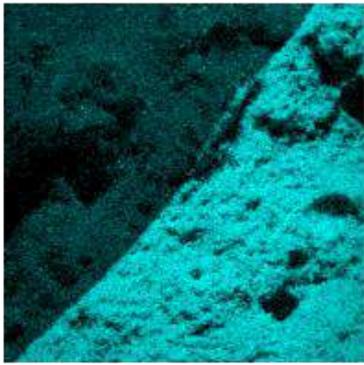
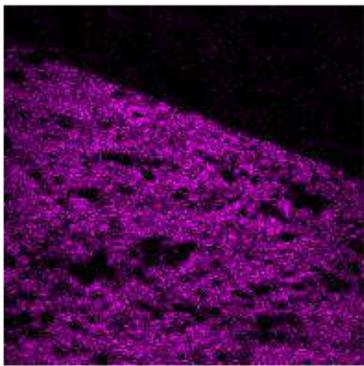
Ao analisar o mapa individual do elemento S, verifica-se que a quantidade do elemento varia significativamente quando se compara o substrato e o revestimento, sendo a região do substrato

rica em S. O Quadro 10 apresenta o mapa individual para o elemento S nas amostras da interface dos sistemas.

Quadro 10 – Mapa do elemento enxofre (S) das amostras das interfaces dos sistemas de revestimento (continua)

Parede	Mapa de S	Parede	Mapa de S
BCE- U1,0- SCH- PGE0 ,8	<p style="text-align: center;"><b>S K<math>\alpha</math>1</b></p>  <p style="text-align: center;">1mm</p>	BCE- U0,5- SCH- PGE0, 8	<p style="text-align: center;"><b>S K<math>\alpha</math>1</b></p>  <p style="text-align: center;">1mm</p>
BCE- SEC- SCH- PGE0 ,8	<p style="text-align: center;"><b>S K<math>\alpha</math>1</b></p>  <p style="text-align: center;">1mm</p>	BCE- SEC- SCH- PGE0, 6	<p style="text-align: center;"><b>S K<math>\alpha</math>1</b></p>  <p style="text-align: center;">1mm</p>
Amostra irregular, de modo que conduziu a varredura incompleta.			
BCO- U0,5- SCH- PGE0 ,8	<p style="text-align: center;"><b>S K<math>\alpha</math>1</b></p>  <p style="text-align: center;">1mm</p>	BCO- SEC- SCH- PGE0, 8	<p style="text-align: center;"><b>S K<math>\alpha</math>1</b></p>  <p style="text-align: center;">500µm</p>

Quadro 10 – Mapa do elemento enxofre (S) das amostras das interfaces dos sistemas de revestimento (conclusão)

BCO- SEC- SCH- PGE0 ,6	<p style="text-align: center;">S K<math>\alpha</math>1</p>  <p style="text-align: center;">1mm</p>	PC1- SEC- SCH- PGE0, 8	<p style="text-align: center;">S K<math>\alpha</math>1</p>  <p style="text-align: center;">1mm</p>
PC2- SEC- CHC- PGE0 ,8	<p style="text-align: center;">S K<math>\alpha</math>1</p>  <p style="text-align: center;">1mm</p>	PC2- SEC- CHG- PGE0, 8	<p style="text-align: center;">S K<math>\alpha</math>1</p>  <p style="text-align: center;">1mm</p>

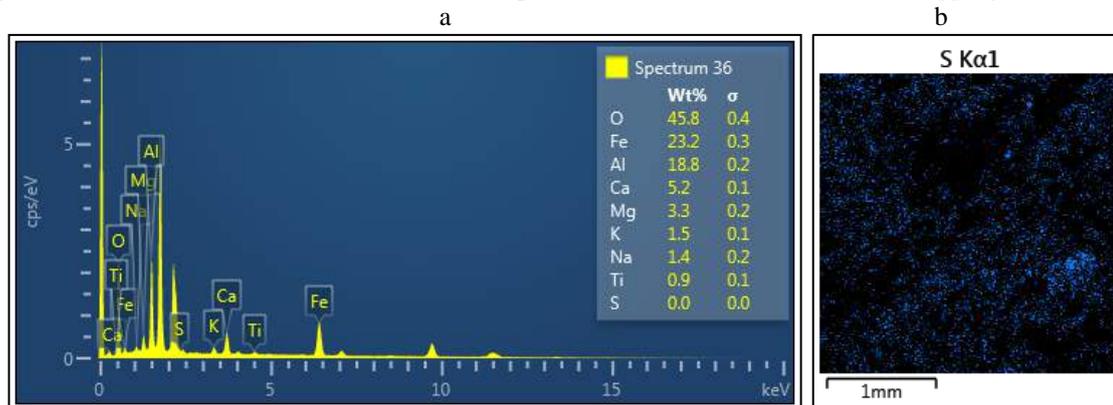
Fonte: Autora, 2021.

A presença em certa quantidade do elemento enxofre (S) no substrato pode sugerir a penetração da pasta da base, que pode ser explicada pelo ligante em dissolução, que gera íons e, através da sucção do substrato, são carregados para o interior dos poros, onde podem se precipitar. A distância dessa penetração possível de ser verificada pelos resultados é de, aproximadamente, 3,67, 2,0, 1,86 e 2,13 mm, nas paredes de bloco cerâmico BCE-U1,0-SCH-PGE0,8, BCE-SEC-SCH-PGE0,8, BCE-SEC-SCH-PGE0,6 e BCE-U0,5-SCH-PGE0,8, respectivamente. Nas paredes de bloco de concreto BCO-SEC-SCH-PGE0,6, BCO-U0,5-SCH-PGE0,8 e BCO-SEC-SCH-PGE0,8, a presença do S é visualizada até 1,23, 1,14 e 0,79 mm, respectivamente. Na parede de concreto, sem camada de ancoragem, PC1-SEC-SCH-PGE0,8, a profundidade de penetração visualizada é de, aproximadamente, 2 mm; nos sistemas com camada de ancoragem, PC2-SEC-CHC-PGE0,8 e PC2-SEC-CHG-PGE0,8, é visualizado o elemento S a 1,71 e 1,5 mm, respectivamente.

É possível questionar se o enxofre é proveniente do gesso do revestimento ou da própria composição da base. Para isso, analisou-se os resultados de *dot mapping* e o EDS de uma

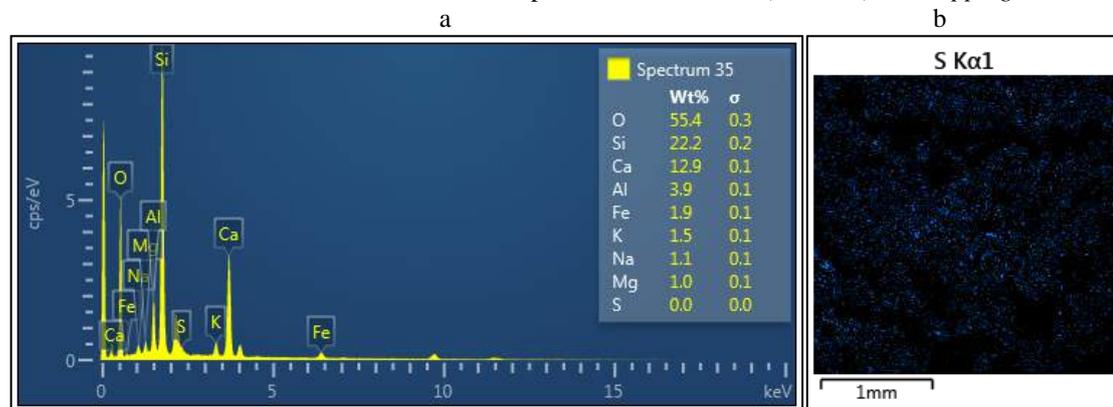
amostra de bloco cerâmico e bloco de concreto, conforme apresentado nas Figura 89 e 90, respectivamente.

Figura 89 – Análise de amostra de bloco cerâmico por MEV com EDS: a) EDS; b) *dot mapping* do elemento S



Fonte: Autora, 2021.

Figura 90 – Análise de amostra de bloco de concreto por MEV com EDS: a) EDS; b) *dot mapping* do elemento S



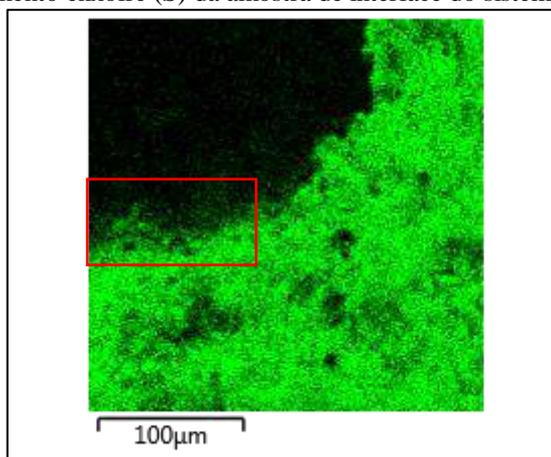
Fonte: Autora, 2021.

A partir da Tabela 13, verifica-se que o bloco cerâmico apresenta um teor muito baixo de  $\text{SO}_3$  (0,2%). O EDS (Figura 89a) não identificou o elemento S, apresentando teor 0%. A análise por EDS é qualitativa e não quantitativa, pois não fornece quantidades precisas. Provavelmente, o teor de enxofre é muito baixo ou nulo, e não foi identificado. Pelo mapeamento químico (Figura 89b), existe o elemento S distribuído no material. Conclui-se que o enxofre visualizado no mapa das amostras de interface pode ser da própria base, não sendo possível saber se é oriundo da penetração do revestimento e sua quantidade. O mapeamento do elemento enxofre na região da base nos sistemas de revestimento se apresenta uniformemente distribuído, não apresentando uma variação de concentração, que poderia ser maior na região mais próxima ao contato e menor na região mais afastada, que seria causado pela penetração de S do revestimento. Esse é um aspecto que pode indicar que, para escala analisada, não há penetração dos produtos do revestimento na base. Essa discussão pode ser aplicada aos demais sistemas de revestimento

com base de bloco de concreto, conforme pode ser verificado pelas Figuras 90a e 90b, e apresenta o elemento S em sua base oriundo da composição do cimento.

Para investigar se em uma maior ampliação há visualização de um gradiente de concentração de S na região da base, analisou-se o sistema BCO-U0,5-SCH-PGE0,8, que pode ser observado na Figura 91.

Figura 91 – Mapa do elemento enxofre (S) da amostra de interface do sistema BCO-U0,5-SCH-PGE0,8



Fonte: Autora, 2021.

A partir da Figura 91, não é possível verificar um gradiente de concentração do elemento S na região da base. É possível visualizar uma região, marcada por um retângulo vermelho, que apresenta uma concentração intermediária do elemento S entre os teores do substrato e do revestimento, que pode estar associado ao fato da amostra ser fraturada (irregular), apresentando uma alteração no mapeamento.

Um outro fator que necessitou de análise foi a quantidade do elemento silício (Si) na pasta. Em alguns revestimentos também se verifica alumínio e ferro. Sugeriu-se a possibilidade da existência de transporte de elementos em dissolução do substrato para o revestimento ou de contaminante do hemi-hidrato. Através da Tabela 9, verifica-se que o gesso apresenta 0,38%, 0,14% e 0,05% dos contaminantes  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , respectivamente. O mesmo raciocínio empregado na análise do S pode ser aplicado para investigar se há deslocamento de Si, Fe e Al: o mapeamento desses elementos na região do revestimento nos sistemas de revestimento se apresenta uniformemente distribuído, não apresentando uma variação de concentração, que poderia ser maior na região mais próxima ao contato e menor na região mais afastada. A partir disso, é possível inferir que, para escala analisada, não é verificada penetração por meio de mapeamento químico.

Além disso, os mapeamentos químicos têm uma aplicação mais qualitativa e não quantitativa, de modo a mostrar que existe o elemento em certa localização, mas não quantifica. Todos esses aspectos descritos dificultam uma conclusão definitiva, por meio desses mapeamentos químicos realizados, sobre se há penetração dos produtos do revestimento no substrato e vice-versa.

Carasek (1996) realizou mapeamentos químicos de amostras de interfaces de sistemas de revestimento em argamassa de cimento e, pela técnica, não conseguiu identificar os produtos de hidratação formados na interface e sim, apenas os elementos químicos presentes em maior concentração. Pode-se verificar se houve penetração de produtos do revestimento na base pela análise morfológica na interface, que será contemplada no próximo tópico.

É importante salientar que as superfícies das amostras da interface não são planas, para evitar a sua contaminação com objetos de corte, uma vez que os revestimentos em pasta de gesso têm alta solubilidade e não podem ser lavados. Assim, a obtenção das amostras ocorreu por fratura sem contato manual e/ou com objetos de corte na superfície de análise de modo a obter uma superfície mais plana possível. A irregularidade da superfície pode dificultar a leitura no equipamento. Houve tentativa de avaliação de amostras com superfície plana dada por corte. Contudo, a análise morfológica da interface mostrou que, no corte, o material da base contaminou o revestimento e vice-versa.

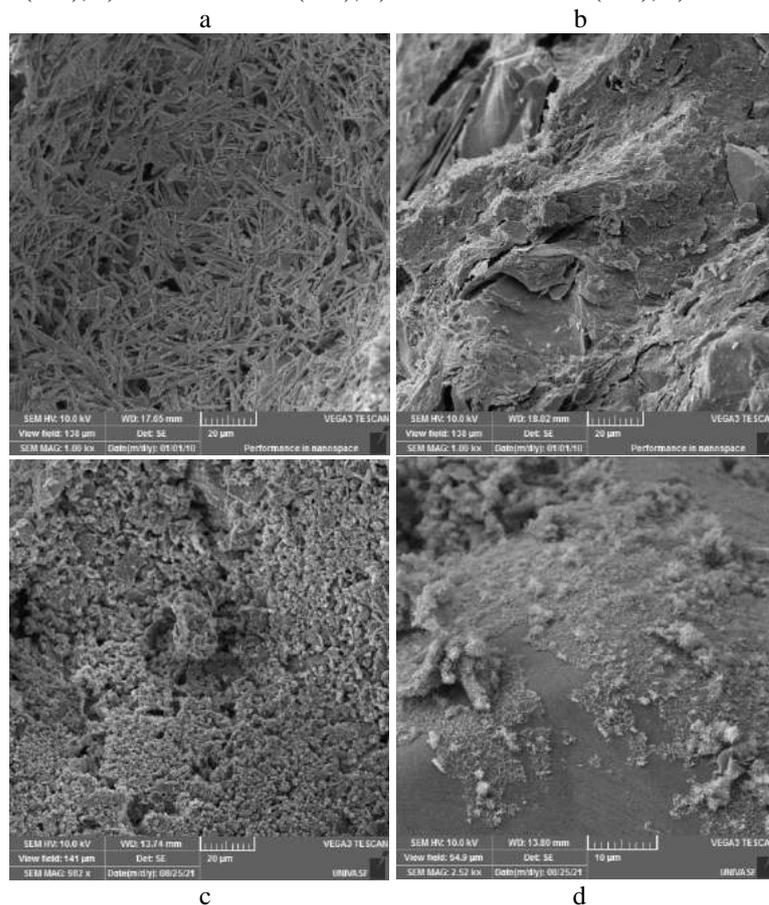
#### **4.3.2 Morfologia e natureza dos produtos hidratados da interface**

Para verificação da morfologia dos produtos formados, foram analisadas amostras da superfície do substrato em contato com o revestimento, originados após ruptura na região de contato revestimento/substrato e amostras das interfaces revestimento/substrato. As micrografias obtidas estão apresentadas no Apêndice K. Algumas serão selecionadas e apresentadas no decorrer deste texto para auxiliar na discussão.

Por meio da análise das micrografias dos revestimentos e das bases, pode-se verificar morfologias bem definidas, conforme apresentado na Figura 92:

- Agulhas prismáticas, que consistem na morfologia do gesso hidratado, ou seja, características do sulfato de cálcio di-hidratado;
- Estrutura densa e homogênea, com alguns poros/vazios e falhas, característica da morfologia do bloco cerâmico;
- Estruturas porosa e irregular, característica dos blocos de concreto e do concreto.

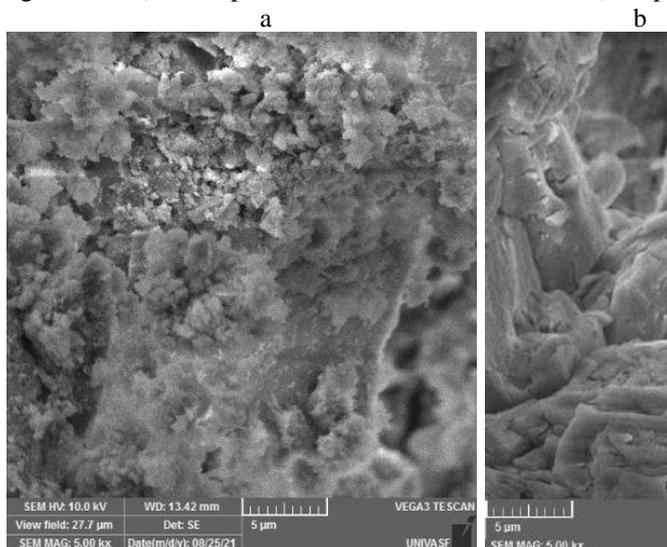
Figura 92 – Morfologias verificadas nos sistemas de revestimento em pasta de gesso: a) sulfato de cálcio di-hidratado (1kx); b) bloco cerâmico (1kx); c) bloco de concreto (1kx); d) concreto (2,5kx)



Fonte: Autora, 2021.

Além das morfologias das bases e dos revestimentos, podem ser visualizadas as morfologias dos tratamentos da base: chapisco de cimento convencional e chapisco de gesso cola, que podem ser observadas na Figura 93.

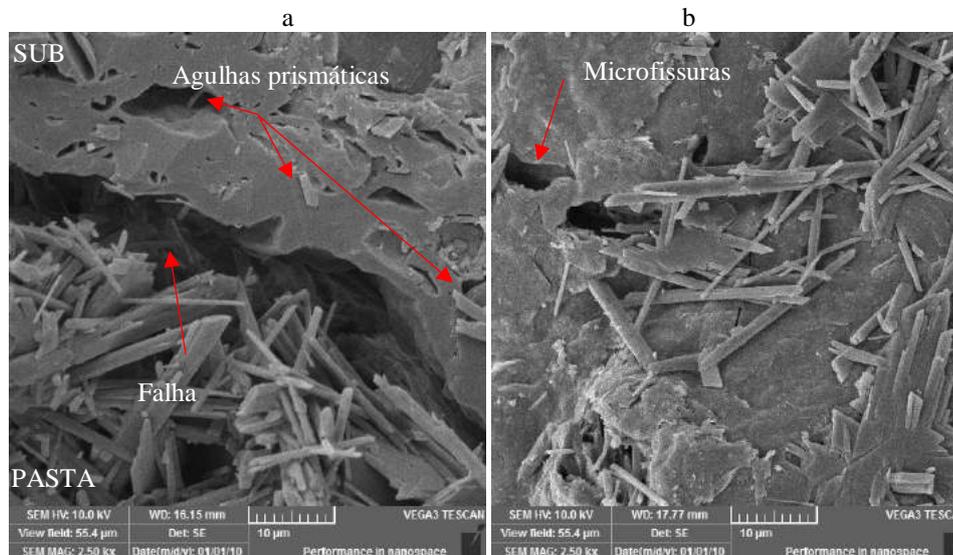
Figura 93 – Micrografias do a) do chapisco convencional de cimento e b) chapisco de gesso cola



Fonte: Autora, 2021.

As micrografias apresentadas na Figura 94 foram obtidas a partir da análise da parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 (bloco cerâmico, úmido a 1% com pasta de gesso com a/g de 0,8).

Figura 94 – Micrografias da parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 (base cerâmica pré-umedecida a 1% com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) com ampliação de 2,5kx: a) interface revestimento/substrato; b) superfície do bloco resultante da fratura da interface



Fonte: Autora, 2021.

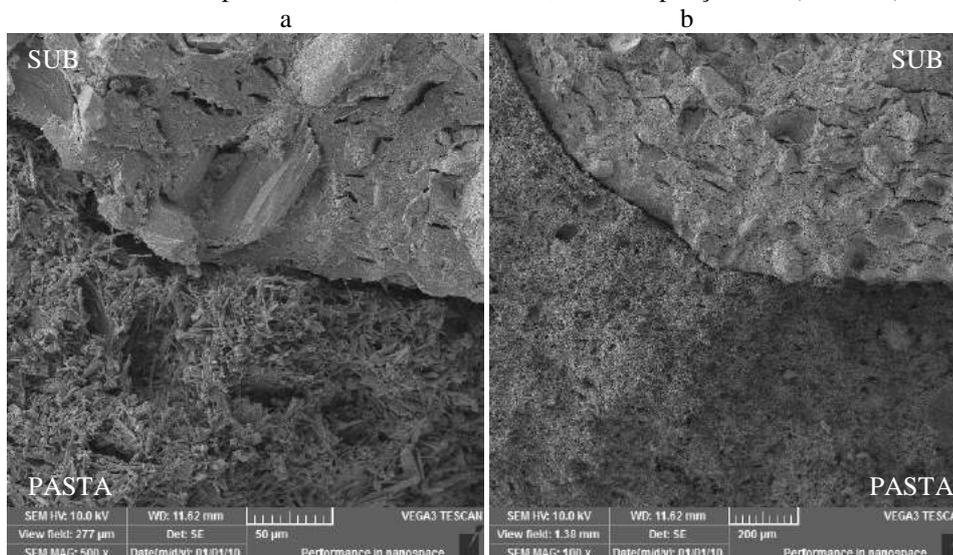
Pela análise da interface (Figura 94a), observa-se a região de contato do revestimento: o gesso hidratado caracterizado pelas agulhas prismáticas e a superfície densa com certa irregularidade, oriunda da fratura com alguns vazios, caracterizada pelo substrato cerâmico. Entre as duas regiões, uma região de falha. Esta falha ocorreu no momento da obtenção da amostra, que foi por meio de fratura para evitar contaminação da superfície por objeto de corte. Contudo, é importante verificar que mais ao fundo da falha, há agulhas que contornam a irregularidade da superfície do substrato. Nenhuma estrutura morfológica distinta característica dos materiais do substrato e do revestimento é visualizada na região da interface. A região de contato é a de maior fragilidade do sistema de revestimento, visto que ocorreu o arrancamento da região de contato.

Pela amostra da superfície (Figura 94b), observa-se a irregularidade da superfície do substrato, bem como microfissuras na superfície que também ajudam na ancoragem do revestimento. Isso também foi observado por Polito, Carvalho Júnior e Brandão (2010) quando estudou sistemas de revestimento com argamassas de cimento.

No geral, são raros os produtos de hidratação do revestimento no substrato a uma distância de, aproximadamente, 17 µm, mostrados na Figura 94a. Toda a superfície do substrato é contornada

pela pasta. Na Figura 95, com menor ampliação, essa informação pode ser verificada com maior clareza.

Figura 95 – Interface da parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 com ampliações de a) 500 e b) 100 vezes



Fonte: Autora, 2021.

A parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,8 (bloco cerâmico, pré-umedecido a 0,5%, com pasta de gesso com a/g de 0,8) também foi analisada, por meio de amostra da interface do revestimento com a base, conforme Figura 96. Esta parede se diferencia da parede mencionada anteriormente (BCE-U1,0-SCH-PGE0,8) pelos teores de umidade da base.

Figura 96 – Micrografias da interface do BCE-U0,5-SCH-PGE0,8 (base de bloco cerâmico, pré-umedecido a 0,5%, com pasta de gesso com a/g de 0,8) com ampliação de 2,5kx



Fonte: Autora, 2021.

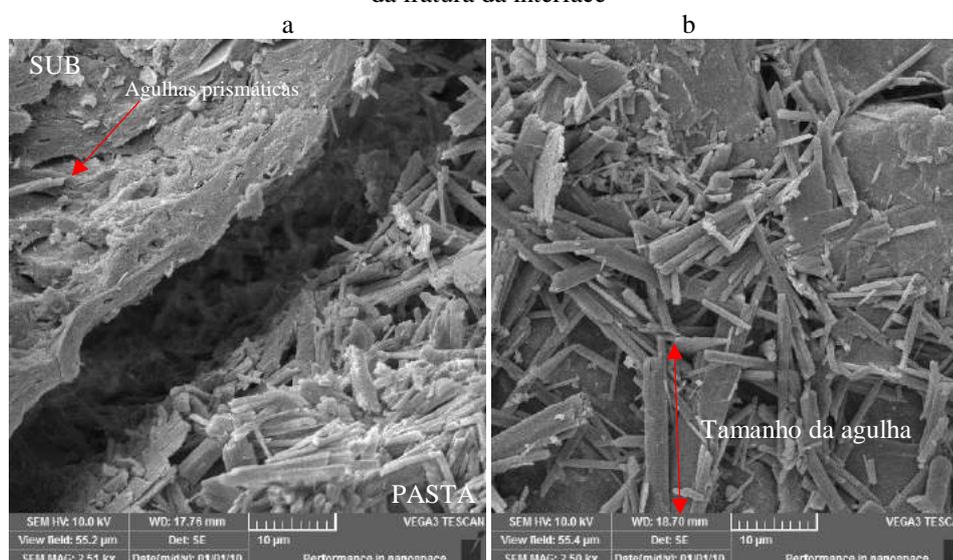
A partir das micrografias da interface da Figura 96, pode-se verificar que não há nenhuma estrutura com morfologia distinta da base de bloco cerâmico e da pasta de gesso. A pasta de gesso contorna toda a superfície da base cerâmica e o penetra pelas trincas, falhas e poros, de

modo que é possível visualizar agulhas prismáticas, característica do di-hidrato, a até, aproximadamente, 16  $\mu\text{m}$ . Pela amostra da interface, nenhuma particularidade é observada devido ao pré-umedecimento de 0,5%, distinto da amostra anterior analisada.

A parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 (bloco cerâmico, seco com pasta de gesso com a/g de 0,8) também foi analisada, por meio de amostras da interface do revestimento e da superfície do bloco em contato com o revestimento, conforme Figura 97. As paredes BCE-U1,0-SCH-PGE0,8, BCE-U0,5-SCH-PGE0,8 e BCE-SEC-SCH-PGE0,8 se diferenciam pelo pré-umedecimento na base.

Na Figura 97a, é possível visualizar agulhas prismáticas oriundas de uma possível penetração do gesso na base até uma profundidade de aproximadamente, 17  $\mu\text{m}$ . As mesmas características da parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 (Figura 94) e BCE-U0,5-SCH-PGE0,8 (Figura 96) são visualizadas nas micrografias da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 (Figura 97). Quando se compara as superfícies dos blocos dos sistemas BCE-SEC-SCH-PGE0,8 (Figura 97b) e BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 (Figura 94b), a diferença consiste na quantidade de agulhas aderidas à superfície de ruptura do bloco, que é nitidamente maior na parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8. Esse aspecto pode ser justificado pelo pré-umedecimento da base que reduz o intertravamento pelos cristais de di-hidrato, que melhoram a aderência. O pré-umedecimento da base torna a região de contato com menor resistência de aderência, provavelmente.

Figura 97 – Micrografias da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 (base cerâmica seca com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) com ampliação de 2,5kx: a) interface revestimento/substrato; b) superfície do bloco resultante da fratura da interface



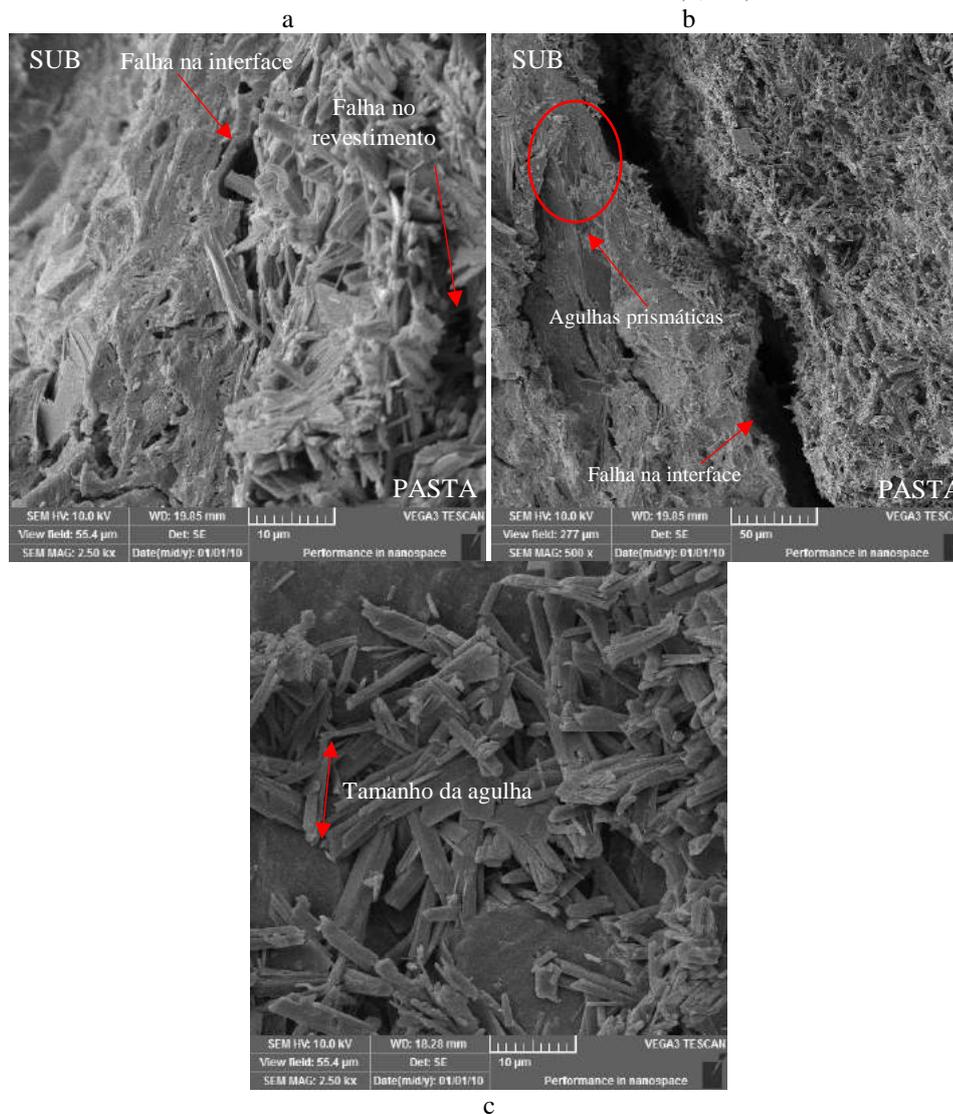
Fonte: Autora, 2021.

A parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 (bloco cerâmico, seco com pasta de gesso com a/g de 0,6) também foi analisada da mesma forma. Este protótipo se diferencia da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 pelo traço empregado para o revestimento em pasta de gesso: a parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 tem relação a/g de 0,6 e a parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 de 0,8. A Figura 98 apresenta as micrografias de amostras da interface e superfície do substrato da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6.

O revestimento contorna toda a superfície do substrato (Figura 98a). Parte da amostra apresentou uma fenda na interface, como nas amostras anteriores, e a outra parte imediatamente após a interface, em torno de 200  $\mu\text{m}$ , no revestimento, oriundas do processo de preparo da amostra (fratura). Alguns produtos da hidratação do gesso são encontrados nas bases cerâmicas a, aproximadamente, 40  $\mu\text{m}$  da região de contato, como indicado na Figura 98b.

Pode-se verificar, ao comparar as Figuras 97b e 98c que a parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 tem agulhas menores em relação à parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8, sendo esta redução de tamanho variável, chegando visualmente a 50%. Atribui-se isso a relação a/g menor na parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6. Antunes (1999) e Barbosa, Ferraz e Santos (2014) explicam que esta relação a/g influencia na taxa de precipitação dos cristais do sulfato de cálcio hidratado, que crescem a partir de germes de cristalização ou núcleos. A quantidade desses núcleos influencia na taxa de crescimento e no tamanho desses cristais. Se os núcleos são numerosos, o crescimento é rápido e há formação de uma quantidade de pequenos cristais por unidade de volume da solução. Entretanto, cristais grandes se formam quando o crescimento é lento, devido aos poucos núcleos. É o que ocorre quando se aumenta relação a/g: maior o intervalo de tempo necessário para saturar a solução, retardando o início da precipitação dos cristais de di-hidrato. Quanto à quantidade de material aderido à estas superfícies, não foi verificada particularidade em função das diferenças de relação a/g.

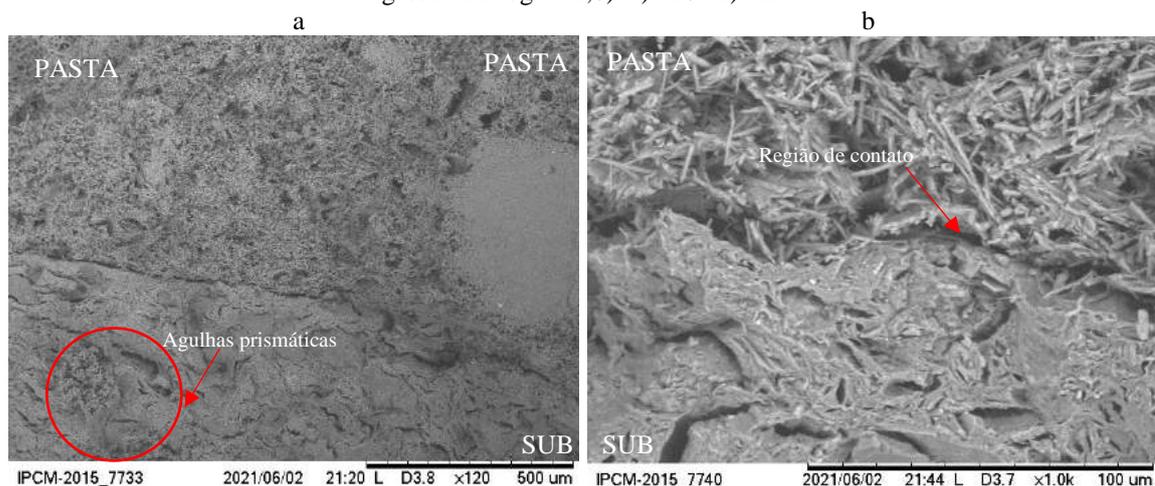
Figura 98 – Micrografia da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 (base cerâmica seca com pasta de gesso com relação a/g de 0,6): a) interface revestimento/substrato (2,5kx); b) interface revestimento/substrato (500x); c) superfície do bloco resultante da fratura da interface (2,5kx)



Fonte: Autora, 2021.

A Figura 99 apresenta as micrografias da interface do sistema de revestimento BCE-SEC-SCH-PGE1,0 (base de bloco cerâmico, seco com pasta de gesso com a/g de 1,0). Esse sistema de revestimento é semelhante aos sistemas BCE-SEC-SCH-PGE0,6 e BCE-SEC-SCH-PGE0,8, diferindo somente nas relações a/g.

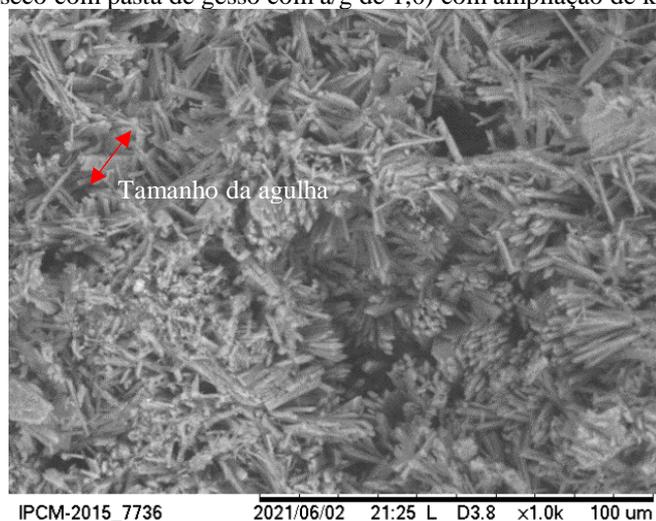
Figura 99 – Micrografia das interfaces dos BCE-SEC-SCH-PGE1,0 (base de bloco cerâmico, seco com pasta de gesso com a/g de 1,0): a) 120x b) 1kx



Fonte: Autora, 2021.

A partir da Figura 99, pode-se verificar que há indícios de penetração da pasta no substrato cerâmico, conforme demarcado na Figura 99a, a uma distância de, aproximadamente, 2000  $\mu\text{m}$ . Essa penetração está associada a um poro aberto que permitiu a penetração do material da pasta. A pasta contorna toda superfície do substrato. Não há qualquer elemento com morfologia distinta daquela que compõe a pasta (agulhas prismáticas) e a base (estrutura densa, homogênea com alguns poros/trincas). A pasta se apresenta homogênea, de modo que preservam as mesmas características tanto na parte mais próxima à região de contato com a base, quanto no ponto mais distante. Na Figura 100, pode-se observar uma micrografia com foco somente no revestimento.

Figura 100 – Micrografia do revestimento de gesso do sistema BCE-SEC-SCH-PGE1,0 (base de bloco cerâmico, seco com pasta de gesso com a/g de 1,0) com ampliação de kx

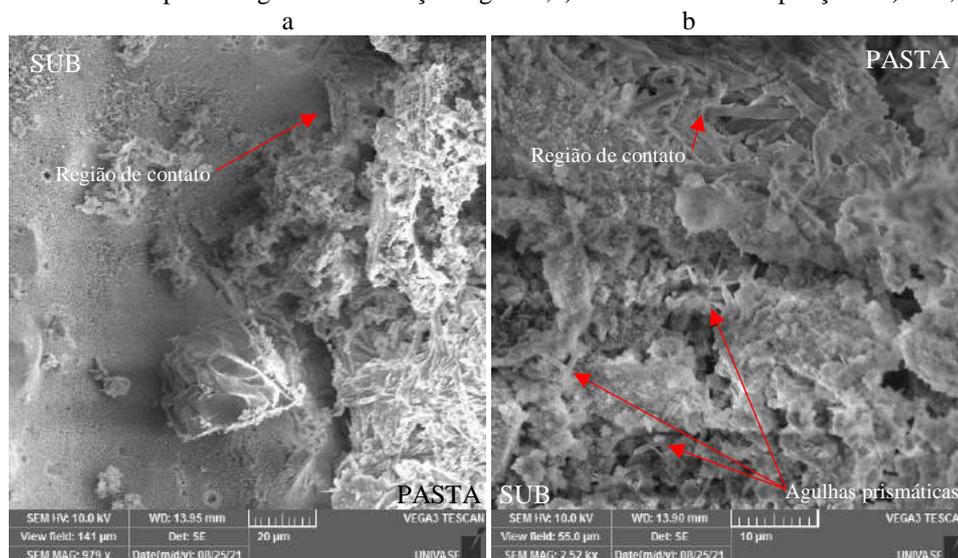


Fonte: Autora, 2021.

Em comparação com o sistema BCE-SEC-SCH-PGE0,8 (Figura 97b), o sistema BCE-SEC-SCH-PGE1,0 apresenta agulhas prismáticas, características do sulfato de cálcio di-hidratado, em torno de 5 vezes maiores, proveniente de uma maior relação água/gesso.

A Figura 101 apresenta as micrografias de amostras da interface e superfície do substrato da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,6 (base de bloco de concreto seca com pasta de gesso de relação a/g de 0,6). Esta parede se diferencia da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 pelo tipo de base: a primeira é base de bloco de concreto e a segunda, bloco cerâmico.

Figura 101 – Micrografias da interface revestimento/substrato da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,6 (base de bloco de concreto seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,6) com diferentes ampliações: a) 1kx; b) 2,5kx

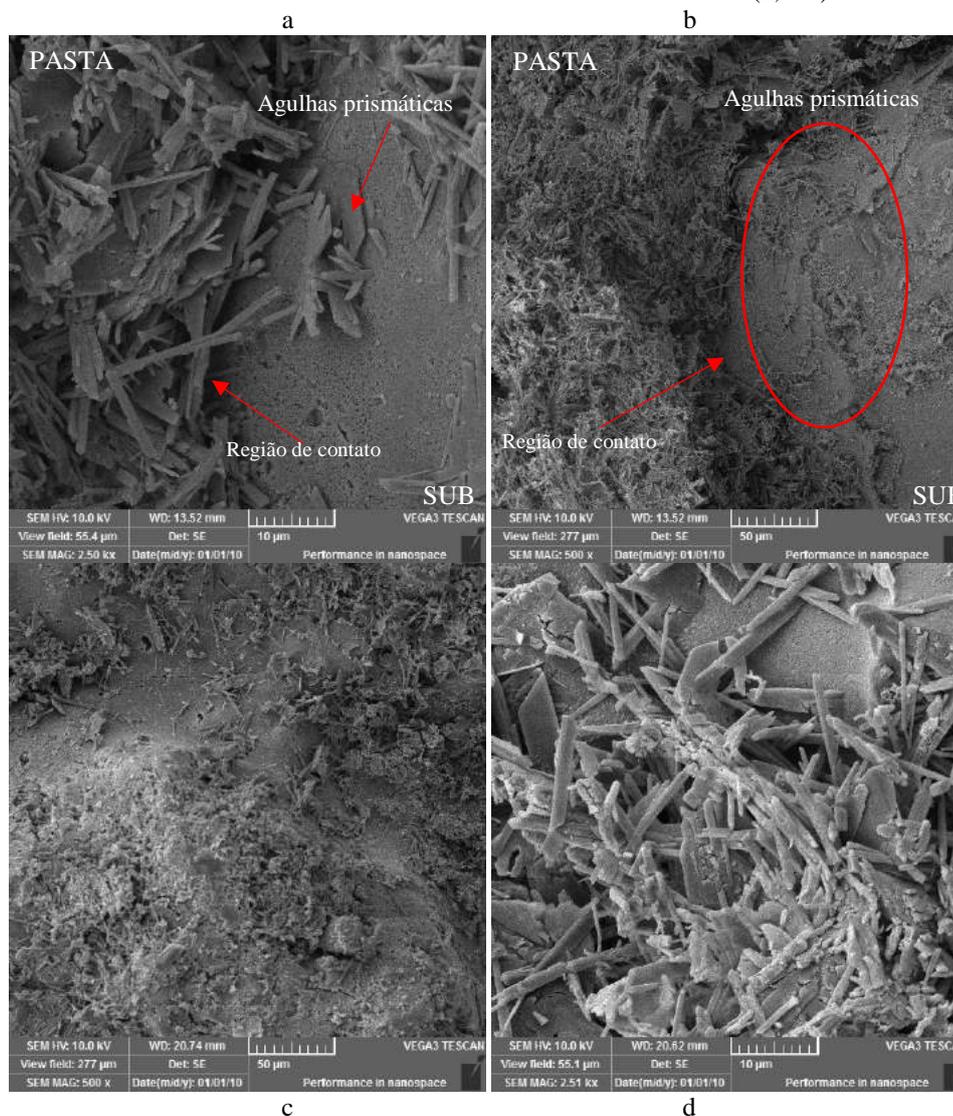


Fonte: Autora, 2021.

Através das micrografias da Figura 101, pode-se observar que o revestimento contorna toda a superfície do substrato de bloco de concreto, penetrando também em seus poros. São visualizadas agulhas prismáticas no substrato a uma distância de, aproximadamente, 36 µm da região de contato dos dois materiais. Nenhuma estrutura morfológica distinta característica dos materiais do substrato e do revestimento é visualizada.

A Figura 102 apresenta as micrografias de amostras da interface e superfície do substrato da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8 (base de bloco de concreto seca com pasta de gesso de relação a/g de 0,8). Esta parede se diferencia da parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 pelo tipo de base: a primeira é base de bloco de concreto e a segunda, bloco cerâmico. O sistema BCO-SEC-SCH-PGE0,8 também é semelhante ao sistema BCO-SEC-SCH-PGE0,6, diferenciando-se somente pela relação a/g da pasta.

Figura 102 – Micrografia da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8 (base de bloco de concreto seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,8): a) interface revestimento/substrato (2,5kx); b) interface revestimento/substrato (500x); c) superfície do bloco resultante da fratura da interface revestimento/substrato (500x); d) superfície do bloco resultante da fratura da interface revestimento/substrato (2,5kx)



Fonte: Autora, 2021.

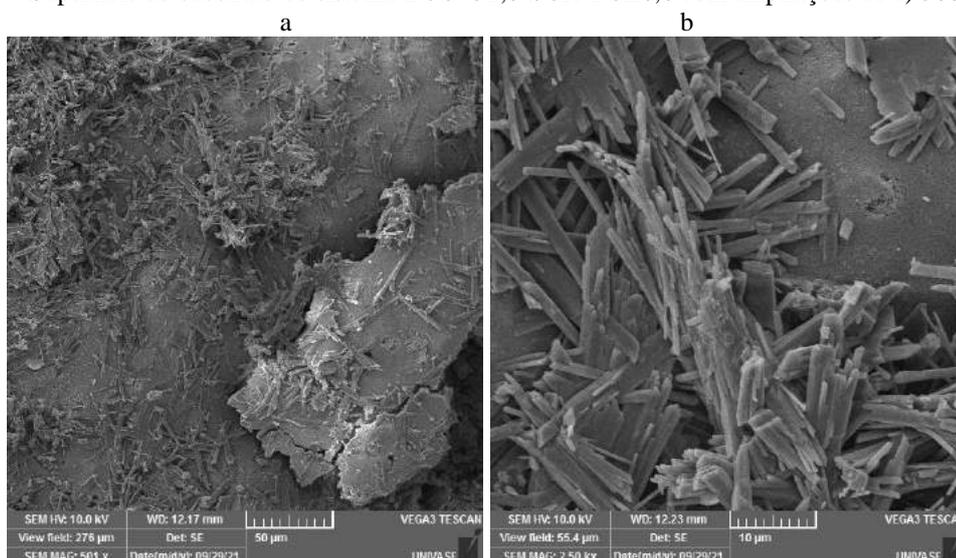
A partir da Figura 102, observa-se que o revestimento de gesso contorna todo o substrato de bloco de concreto. São visualizadas agulhas prismáticas na base de bloco de concreto, que são resultantes da penetração de produtos hidratados na base a uma distância de, pelo menos, 100  $\mu\text{m}$ . O bloco de concreto é menos poroso que o bloco cerâmico, contudo, apresenta diâmetro médio de poro maior, conforme pode ser verificado pelos resultados do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio (Tabelas 17 e 19). Uma maior quantidade de agulhas é visualizada no substrato de bloco de concreto (Figura 102b) em comparação ao substrato cerâmico (Figura 97a) na região da interface.

Há quantidade significativa de material aderido à superfície da base; visualmente, semelhante à parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8, com mesmas características distinguindo-se somente pela

base. Não há diferença estatisticamente significativa para a resistência de aderência à tração desta base em relação ao mesmo revestimento aplicado sobre a base cerâmica (parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8), que pode ser confirmado no Apêndice H.1.

Na Figura 103, são apresentadas micrografias da superfície do substrato do sistema BCO-U1,0-SCH-PGE0,6. Esse sistema se diferencia do sistema BCO-SEC-SCH-PGE0,8 pelo pré-umedecimento da base e pela relação a/g.

Figura 103 – Superfície do substrato do sistema BCO-U1,0-SCH-PGE0,6 com ampliações de a) 500x e b) 2,5kx

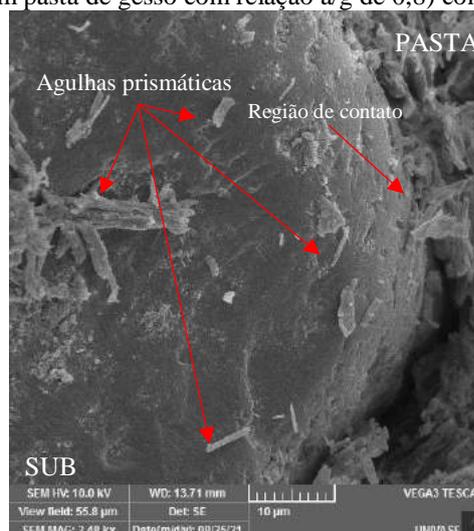


Fonte: Autora, 2021.

A partir da Figura 103, pode-se visualizar que várias agulhas características do di-hidrato permanecem aderidas à superfície do bloco mesmo após o descolamento do revestimento do substrato. Comparativamente, os sistemas BCO-U1,0-SCH-PGE0,6 (Figura 103) e BCO-SEC-SCH-PGE0,8 (Figura 102c), ambos apresentam regiões na amostra com maior concentração de agulhas prismáticas em relação a outras áreas. Além disso, não é possível verificar diferenças em relação à essas quantidades entre esses dois sistemas causados pelas diferentes relações a/g e nem pelo teor de umidade da base; pode estar havendo um efeito sinérgico desses dois fatores, ou distintas características de rugosidade do substrato na região de coleta das amostras, que podem influenciar na quantidade de material aderido ao substrato.

A Figura 104 apresenta as micrografias de amostras da interface do sistema BCO-U0,5-SCH-PGE0,8 (base de bloco de concreto com pré-umedecimento de 0,5% e pasta de gesso de relação a/g de 0,8). Esta parede se diferencia da parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8 pelo teor de pré-umedecimento da base.

Figura 104 – Micrografia da interface revestimento/substrato do sistema BCO-SEC-SCH-PGE0,8 (base de bloco de concreto seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) com ampliação de 2,5 kx



Fonte: Autora, 2021.

A partir da micrografia da interface mostrada na Figura 104, pode-se verificar que não há nenhuma estrutura com morfologia distinta da base de bloco de concreto e da pasta de gesso. A pasta de gesso contorna toda a superfície da base e o penetra pelos poros, de modo que é possível visualizar agulhas prismáticas, característica do di-hidrato até, aproximadamente, 51 μm. Pela amostra da interface, nenhuma particularidade é observada devido ao pré-umedecimento de 0,5%, distinto do sistema BCO-SEC-SCH-PGE0,8.

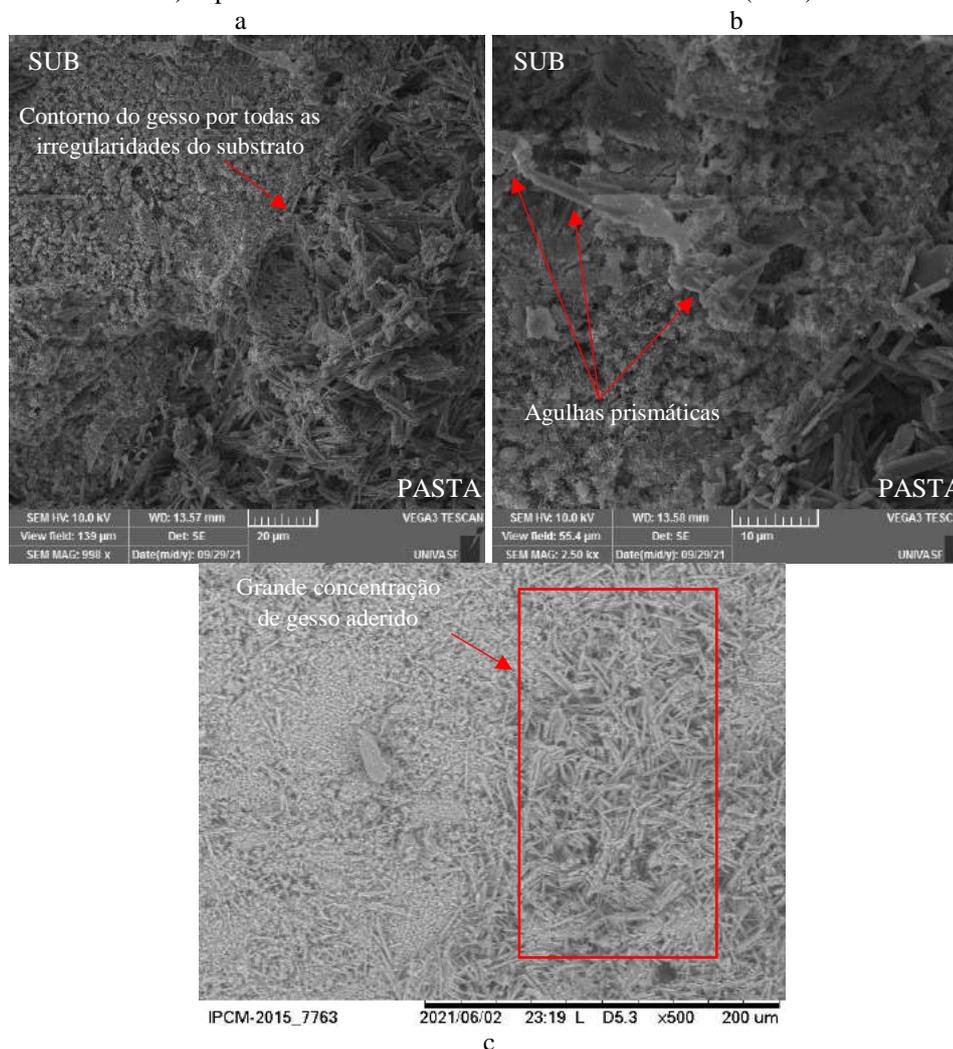
A Figura 105 apresenta as micrografias de amostras da interface e superfície do substrato da parede PC1-SEC-SCH-PGE0,8 (base de concreto liso 1 seca, com pasta de gesso de relação a/g de 0,8). Esta parede se diferencia das paredes BCE-SEC-SCH-PGE0,8 e BCO-SEC-SCH-PGE0,8 pelo tipo de base: a primeira é base de bloco de cerâmico e a segunda, bloco de concreto.

A partir das micrografias da Figura 105, verifica-se que a pasta de gesso contorna toda a superfície da base. Há agulhas prismáticas (indicação da Figura 105a) se intertravando nas irregularidades da textura<sup>17</sup> do concreto. Essas agulhas estão posicionadas pelo processo natural de hidratação da pasta sobre a base. Na Figura 105b, é possível verificar que há penetração de gesso na base até uma profundidade de, aproximadamente, 45 μm. A Figura 105c mostra a superfície do concreto 1 que estava em contato com o gesso com várias agulhas prismáticas

<sup>17</sup> A textura é representada por qualquer conjunto de morfologia, incluindo, entre outras, ranhuras, cordilheiras, colinas e poros (RECUM, SHANNON, CANNON, 1996).

aderidas, demonstrando a constatação das Figuras 105a e 105b, que a pasta se intertrava por toda a superfície da pasta.

Figura 105 – Micrografia da parede PC1-SEC-SCH-PGE0,8 (base de concreto lise 1 seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,8): a) interface revestimento/substrato (500x); b) interface revestimento/substrato (2,5kx); c) superfície da base resultante da fratura da interface (500x)



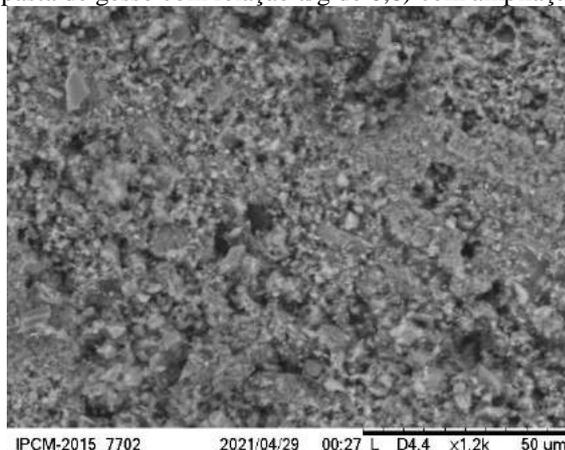
Fonte: Autora, 2021.

A Figura 106 apresenta a micrografia de amostra da superfície do substrato da parede PC2-SEC-SCH-PGE0,8 (base de concreto liso 2 seca, com pasta de gesso de relação a/g de 0,8), que apresentou deslocamento do revestimento. Esta parede se diferencia da parede PC1-SEC-SCH-PGE0,8 somente pela resistência da base.

Pela micrografia da Figura 106, verifica-se que não há vestígio de pasta de gesso aderida à superfície. O revestimento do sistema PC2-SEC-SCH-PGE0,8 apresentou resistência de aderência nula, de modo que o revestimento se deslocou completamente da base antes do ensaio de resistência de aderência à tração. Ou seja, em relação ao sistema anterior (PC1-SEC-SCH-PGE0,8), com os mesmos materiais com modificação somente na dosagem do concreto

da base (alteração da resistência), este apresenta uma alteração na distribuição dos poros, de modo que isso alterou sua textura da base e o intertravamento do revestimento na base.

Figura 106 – Micrografia da superfície do substrato do sistema PC2-SEC-SCH-PGE0,8 (base de concreto lisa 2 seco com pasta de gesso com relação a/g de 0,8) com ampliação de 1,2 kx



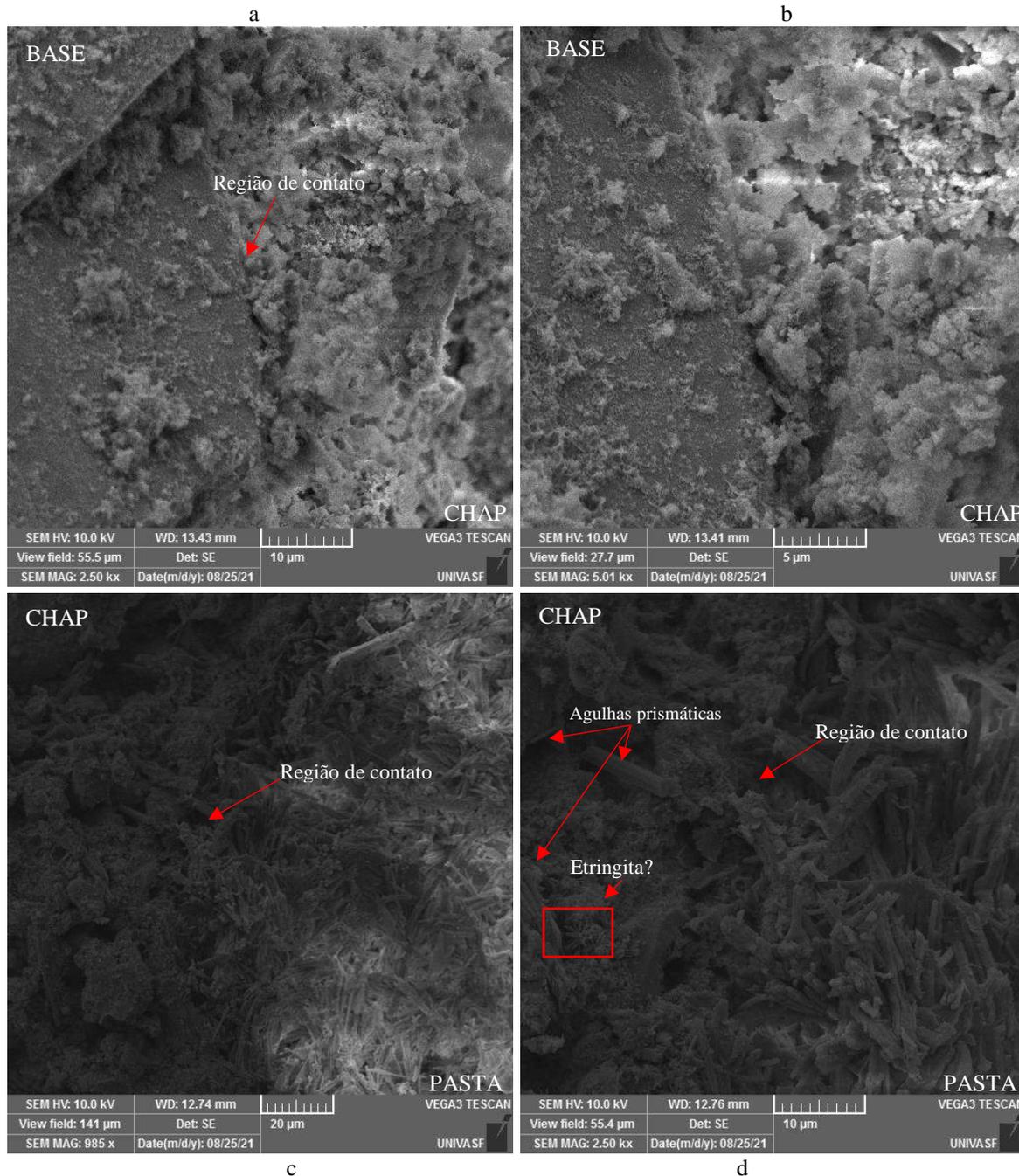
Fonte: Autora, 2021.

A Figura 107 apresenta a micrografia de amostra interfaces substrato/chapisco e chapisco/revestimento da parede PC2-SEC-CHC-PGE0,8 (base de concreto liso 2 seca, com chapisco convencional de cimento e pasta de gesso de relação a/g de 0,8). Esta parede se diferencia da parede PC2-SEC-SCH-PGE0,8 pelo tratamento da base feito com chapisco convencional de cimento.

A partir das Figuras 107a e 107b, pode-se visualizar a região de contato entre a base de concreto e o chapisco convencional de cimento. Ambos têm algumas semelhanças morfológicas quanto a matriz cimentícia e o agregado miúdo. O chapisco contorna toda a superfície da base, não sendo verificada estrutura morfológica distinta na região de contato.

Nas Figuras 107c e 87d, pode-se visualizar a região de contato do chapisco convencional de cimento e do revestimento de gesso. O revestimento de gesso contorna toda a superfície do chapisco. Também é possível observar que há penetração de gesso, caracterizada pela presença de agulhas prismáticas no chapisco, numa profundidade de até 28 $\mu$ m. Na região de contato entre o chapisco convencional de cimento e o revestimento não é visualizada nenhuma estrutura morfológica distinta do chapisco e do revestimento de gesso, exceto um pequeno indicativo de possível formação de estrutura morfológica semelhante etringita, conforme indicada na Figura 87d. Contudo, é muito precipitado afirmar que a estrutura indicada é de etringita sem uma investigação detalhada. A estrutura da etringita pode se assemelhar a estrutura do di-hidrato, porém as agulhas da etringita, diferente das agulhas prismáticas da pasta de gesso, são mais aciculares.

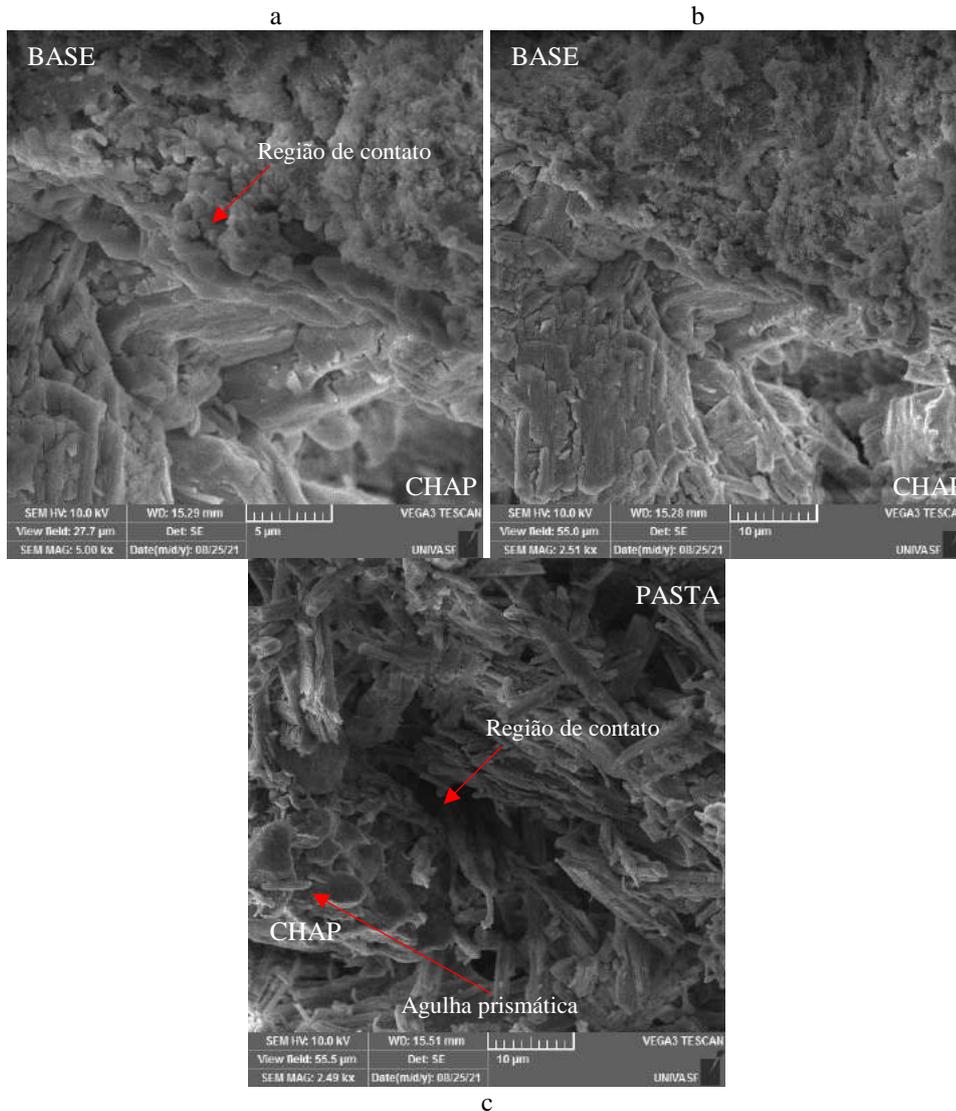
Figura 107 – Micrografia da interface do sistema PC2-SEC-CHC-PGE0,8 (base de concreto 2 seco com chapisco de convencional de cimento e pasta de gesso com relação a/g de 0,8): a) chapisco/substrato (2,5kx); b) chapisco/substrato (5kx); c) chapisco/revestimento (1kx); d) chapisco/revestimento (2,5kx)



Fonte: Autora, 2021.

A Figura 108 apresenta a micrografias de amostra de interfaces base/chapisco e chapisco/revestimento da parede PC2-SEC-CHG-PGE0,8 (base de concreto liso 2 seca, com chapisco de gesso cola e pasta de gesso de relação a/g de 0,8). Esta parede se diferencia da parede PC2-SEC-SCH-PGE0,8 pelo tratamento da base feito com chapisco de gesso cola.

Figura 108 – Micrografia da interface do sistema PC2-SEC-CHG-PGE0,8 (base de concreto 2 seco com chapisco de gesso cola e pasta de gesso com relação a/g de 0,8): a) chapisco/substrato (2,5kx); b) chapisco/substrato (5kx); c) chapisco/revestimento (2,5kx)



Fonte: Autora, 2021.

A partir das Figuras 108a e 108b, pode-se visualizar a interface da base com o chapisco de gesso cola. O chapisco de gesso cola contorna toda superfície da base de concreto, não sendo observada estrutura morfológica distinta daquelas visualizadas na base e no chapisco na região de contato dos dois materiais. Na Figura 108c, é possível visualizar a pasta do revestimento contornando toda a superfície do gesso cola, e nenhuma estrutura morfológica distinta dos materiais do chapisco e da pasta é visualizada. Agulha prismática, característica da pasta do revestimento, é observada no chapisco de gesso cola, conforme indicado na Figura 108c.

### 4.3.3 Considerações sobre os resultados do estudo com o MEV

Através do MEV, é possível visualizar a morfologia dos produtos do revestimento e do substrato. As micrografias da interface mostraram que a pasta do revestimento contorna toda a superfície do substrato, preservando as características da pasta na região de contato. O mesmo ocorre com o substrato: preserva as características na região de contato. Ou seja, nenhuma estrutura morfológicamente distinta daquelas do substrato e do revestimento é visualizada na região de contato, o que poderia caracterizar uma reação dos produtos do sistema de revestimento. Essas informações foram corroboradas pelas análises das amostras de superfícies de substratos, que estavam em contato com o revestimento.

Por essas amostras, também foi possível visualizar que o pré-umedecimento reduz o intertravamento do revestimento nas bases cerâmicas. Em sistemas de blocos cerâmicos e blocos de concreto, quando a ruptura ocorre na interface do sistema, a ruptura ocorre na região de contato dos dois materiais, ficando somente algumas agulhas aderidas à superfície do substrato.

Foi constatado que há penetração de sulfato de cálcio di-hidratado do revestimento no interior das bases de bloco cerâmico, bloco de concreto e, dependendo das características do concreto, em base do concreto. A maior profundidade de penetração foi de 2000  $\mu\text{m}$ , no sistema BCE-SEC-SCH-PGE1,0. No substrato de concreto de resistência de 17,144 MPa analisado (concreto 2), com estrutura menos rugosa e porosa, não houve intertravamento do revestimento no substrato e o revestimento se deslocou.

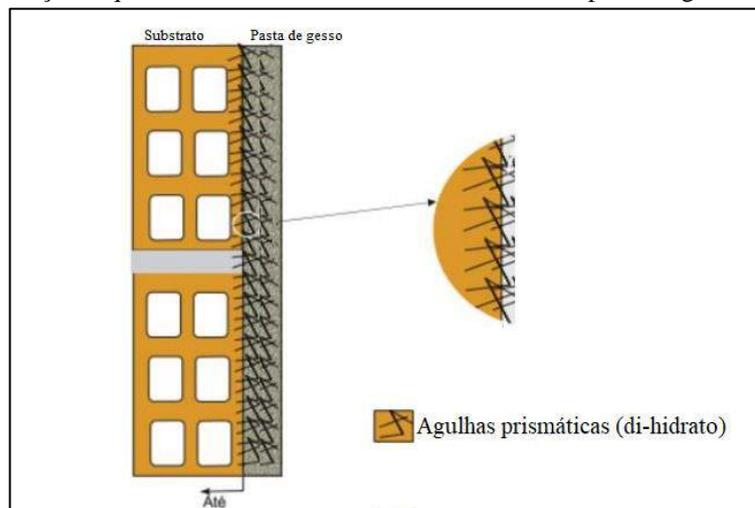
Ao analisar os resultados obtidos pela microscopia, acredita-se que a aderência seja um fenômeno mecânico decorrente do intertravamento de agulhas prismáticas, características da morfologia do di-hidrato, que contornam todas as irregulares da superfície do substrato e, penetrando nos poros, fissuras e falhas existentes da base.

O mecanismo de aderência de pastas de gesso não se encontra definido na literatura. Contudo, considerando o que foi observado nas micrografias, há algumas semelhanças com uma das linhas de pensamentos do mecanismo de sistemas de revestimento à base de argamassa de cimento: a aderência é decorrente do intertravamento de cristais de etringita no interior dos poros do substrato cerâmico (CARASEK, 1996).

Com base nestas informações, sugere-se o modelo apresentado na Figura 109, adaptado de Carasek (2001 apud POLITO, 2008), para explicar o mecanismo de aderência do revestimento

em pasta de gesso em base de bloco cerâmico de vedação, bloco de concreto de vedação e de algumas placas de concreto.

Figura 109 - Representação esquemática do mecanismo de aderência entre pasta de gesso e o substrato



Fonte: adaptação CARASEK, 2001 apud POLITO, 2008.

#### 4.4 ANÁLISE PETROGRÁFICA

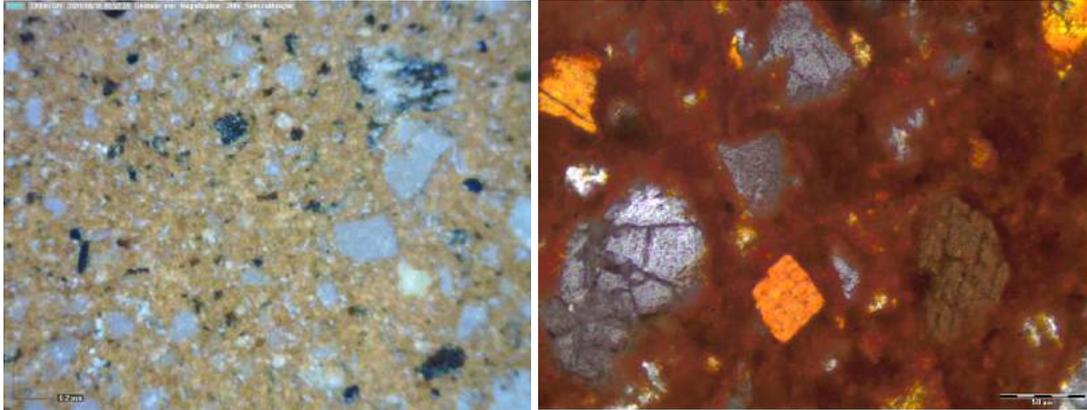
Os sistemas de revestimento em pasta de gesso estudados por petrografia são apresentados no Quadro 11. Nas Figuras 110 a 118, são apresentadas as imagens das amostras visualizadas em microscópio. As análises descritas no presente tópico foram realizadas por geólogo e as imagens foram obtidas utilizando polarizador cruzado e descruzado.

Quadro 11 – Sistemas de revestimento em pasta de gesso estudados por petrografia

<b>Sistema</b>	<b>Tipo de amostra</b>
BCE-SEC-SCH-PGE0,8	Interface do sistema e superfície do substrato
BCE-SEC-SCH-PGE0,6	Interface do sistema
BCO-SEC-SCH-PGE0,8	Interface do sistema e superfície do substrato
PC1-SEC-SCH-PGE0,8	Interface do sistema
PC2-SEC-CHC-PGE0,8	Interface do sistema
PC2-SEC-CHG-PGE0,8	Interface do sistema
PC2-SEC-SCH-PGE0,8	Superfície do substrato

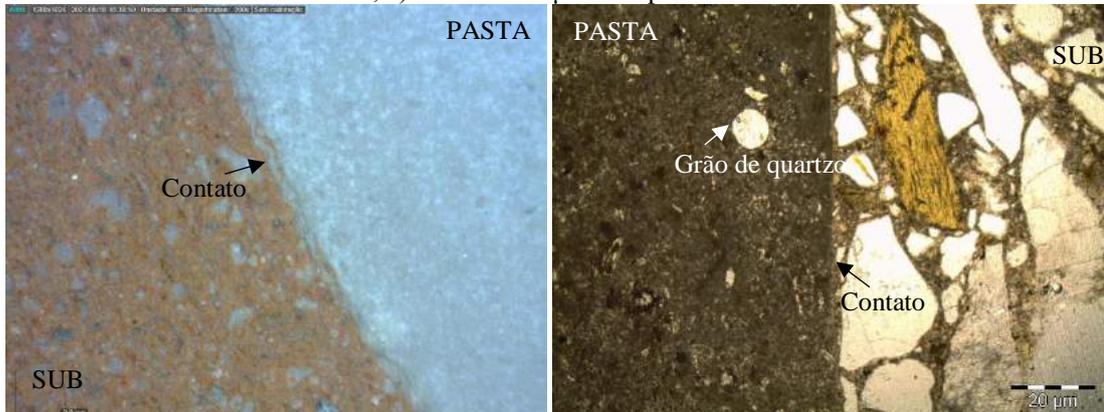
Fonte: Autora, 2021.

Figura 110 – Imagens da amostra da superfície da base do sistema BCE-SEC-SCH-PGE0,8: a) ampliação de 200 x com polarizador descruzado; b) escala de 50  $\mu\text{m}$  com polarizador cruzado



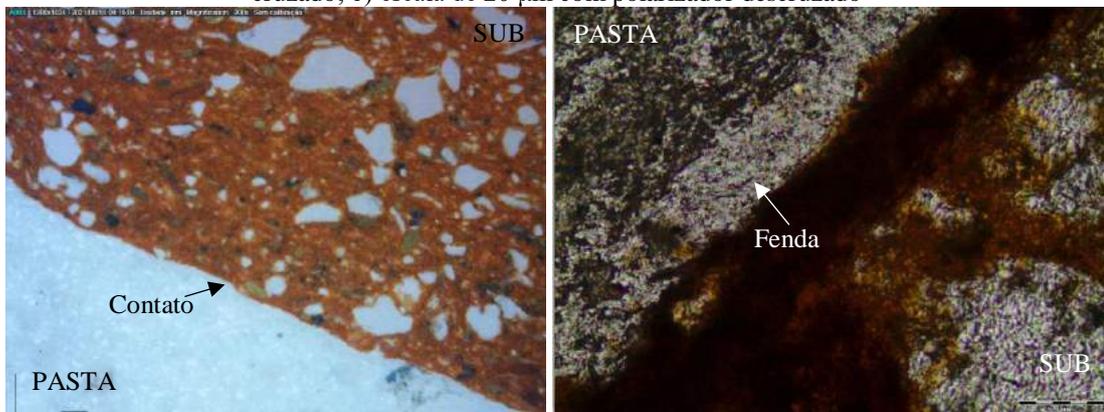
Fonte: Autora, 2021.

Figura 111 – Imagens da interface do sistema BCE-SEC-SCH-PGE0,8: a) ampliação de 200 x com polarizador descruzado; b) escala de 20  $\mu\text{m}$  com polarizador cruzado



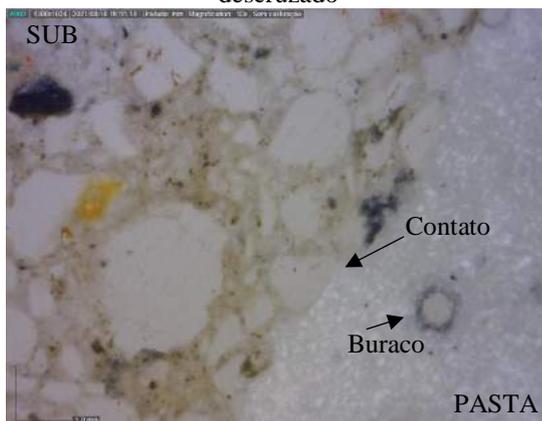
Fonte: Autora, 2021.

Figura 112 – Imagens da interface do sistema BCE-SEC-SCH-PGE0,6: a) ampliação de 200 x com polarizador cruzado; b) escala de 20  $\mu\text{m}$  com polarizador descruzado



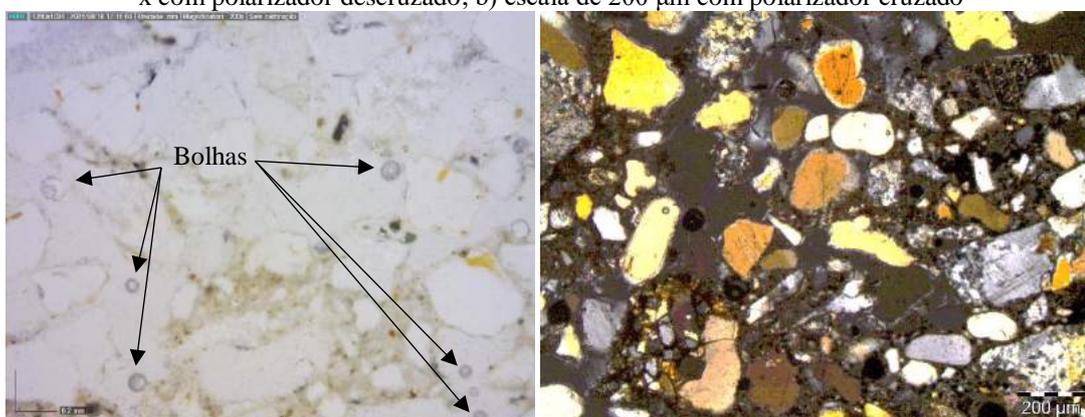
Fonte: Autora, 2021.

Figura 113 – Imagens da interface do sistema BCO-SEC- SCH-PGE0,8 com ampliação de 50 x com polarizador descruzado



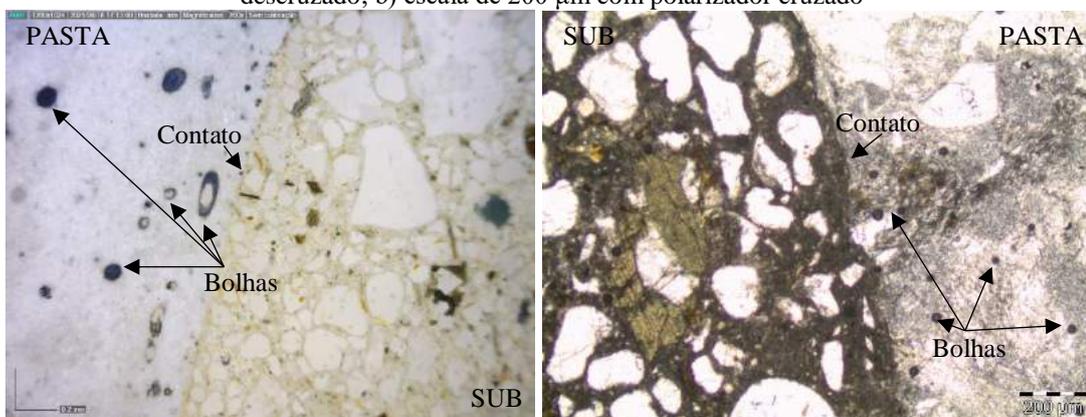
Fonte: Autora, 2021.

Figura 114 – Imagens da amostra da superfície da base do sistema BCO-SEC-SCH-PGE0,8: a) ampliação de 200 x com polarizador descruzado; b) escala de 200 μm com polarizador cruzado



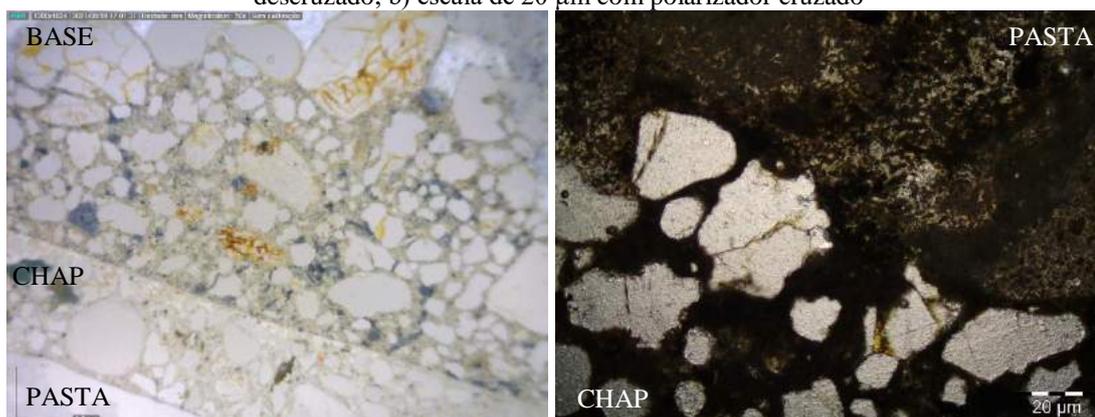
Fonte: Autora, 2021.

Figura 115 – Imagens da interface do sistema PC1-SEC- SCH-PGE0,8: a) ampliação de 200 x com polarizador descruzado; b) escala de 200 μm com polarizador cruzado



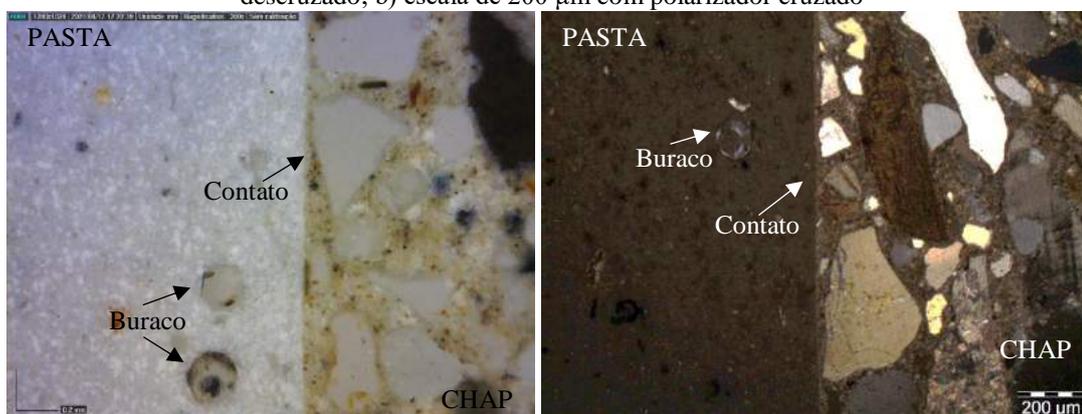
Fonte: Autora, 2021.

Figura 116 – Imagens da interface do sistema PC2-SEC-CHC-PGE0,8: a) ampliação de 50 x com polarizador descruzado; b) escala de 20  $\mu\text{m}$  com polarizador cruzado



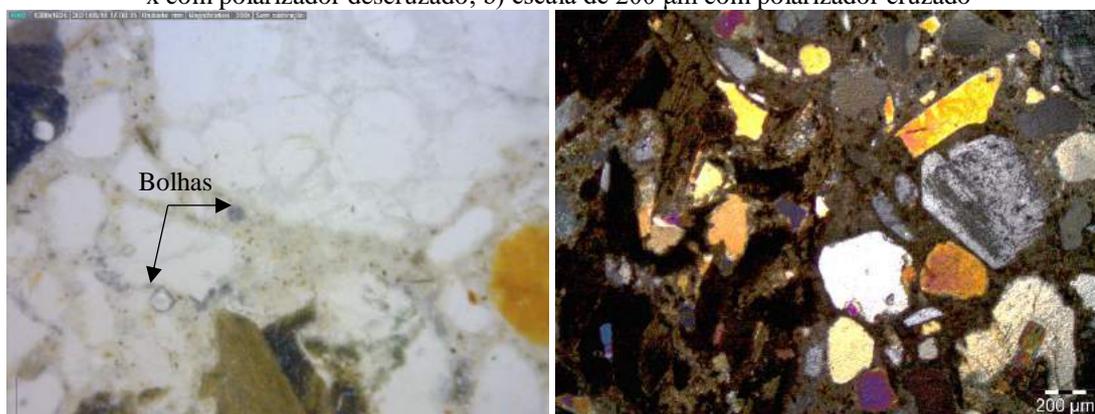
Fonte: Autora, 2021.

Figura 117 – Imagens da interface do sistema PC2-SEC-CHG-PGE0,8: a) ampliação de 200 x com polarizador descruzado; b) escala de 200  $\mu\text{m}$  com polarizador cruzado



Fonte: Autora, 2021.

Figura 118 – Imagens da amostra da superfície da base do sistema PC2-SEC-SCH-PGE0,8: a) ampliação de 200 x com polarizador descruzado; b) escala de 200  $\mu\text{m}$  com polarizador cruzado



Fonte: Autora, 2021.

Nas Figuras 110, 114 e 118 da superfície dos substratos que estavam em contato com o revestimento, nenhuma característica distinta dos materiais do substrato, exceto caso não tenha resistido e se perdido no preparo da lâmina. Não foi identificada penetração de revestimento de

gesso na base. Na Figura 110a, são visualizados pontos brancos ao longo do substrato, que são minerais de quartzo. É importante salientar que o corte para produção da lâmina para análise petrográfica ocorreu a menos de 1,0 mm da superfície do revestimento; a profundidade exata não é possível ser mensurada.

Pelas imagens de interface apresentadas nas Figuras 111, 112, 113, 115, 116 e 117, pode-se observar que o revestimento contorna toda a superfície do substrato, o que corrobora com as imagens das amostras visualizadas por lupa e por MEV. Não é possível visualizar se houve penetração dos produtos no revestimento na base. Nenhuma característica distinta dos materiais do substrato e do revestimento é visualizada na interface. Alguns poros e falhas verificados na região de contato, contudo, não é possível afirmar se são oriundos do próprio material ou ocorreram durante a preparação das lâminas para a análise.

Na Figura 112b, é possível observar uma faixa esbranquiçada ao longo da região de contato dos substratos e do revestimento. Essa faixa pode ser uma fenda, causada pelo preparo da lâmina, pelo material não resistir, ou é um novo material formado isotrópico<sup>18</sup>. Esta última hipótese pode ser investigada por meio de MEV e foi descartada a partir das micrografias obtidas e analisadas, pois não é novo produto formado na interface.

Os buracos indicados nas Figuras 113 e 117, são fragmentos do material que saíram no preparo da amostra. As bolhas indicadas na Figuras 114, 115 e 118 são bolhas de ar na cola utilizada no preparo da amostra, formadas pelo material ser muito poroso; seu predomínio é na pasta de gesso. Na Figura 115b, na área da pasta, há uma região acinzentada, provavelmente, associada a impregnação de alumina nos poros, material usado para desbaste no preparo da amostra.

As informações obtidas pela análise petrográfica corroboraram com as discussões realizadas nos tópicos anteriores deste capítulo. Nenhuma particularidade ou característica adicional relativa ao mecanismo de aderência foi verificada por esta metodologia.

#### 4.5 CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS MACRO E MICROESTRUTURAIIS

Os resultados de resistência de aderência à tração mostraram que o tipo de substrato, os pré-tratamento da base, sejam eles o pré-umedecimento ou chapisco convencional de cimento ou

---

<sup>18</sup> Quando se analisa um material isotrópico utilizando o polarizador nicol, ele aparece na imagem na cor preta.

de gesso cola, e a composição dos revestimentos exercem influência na aderência dos revestimentos.

Quanto ao efeito do tipo de substrato, verifica-se uma tendência de aumento da resistência de aderência em ordem crescente concreto liso de resistência mais alta (17,144 MPa) a mais baixa (8,140 MPa), bloco de concreto e bloco cerâmico. Neste contexto, verificou-se que o substrato é uma variável estatisticamente significativa na aderência. Contudo, ao comparar somente as bases cerâmicas e de bloco de concreto, não há diferenças estatisticamente significativas entre executar um revestimento em base de bloco cerâmico ou bloco de concreto, no quesito resistência de aderência. Entretanto, há que se acrescentar que em, aproximadamente, 47% dos corpos de prova nos blocos de concreto, a resistência de aderência à tração não foi determinada por ter apresentado ruptura coesiva no substrato. Além disso, é importante salientar que estas conclusões foram obtidas para as características de base utilizadas no estudo.

Em relação ainda ao substrato utilizado nos sistemas de revestimento, as alterações nos valores do IRA não explicam o comportamento da resistência de aderência dos sistemas de revestimentos estudados. No caso de blocos cerâmicos, com valores de absorção entre 6 e 10%, pode-se verificar que à medida que aumentou a absorção, houve um ganho da resistência de aderência, embora as diferenças não tenham sido estatisticamente significativas. Isso mostrou indícios de que esta propriedade é influenciada pela estrutura de poros. Para isso, fez-se uma análise das amostras por meio de porosimetria por intrusão de mercúrio em blocos cerâmicos que mostrou que a resistência de aderência à tração aumentou com a redução do diâmetro médio do poro, com o aumento da área específica e com o aumento da porosidade. Os poros ativos para sucção de água contida na pasta têm que ser menores que os dessa pasta.

Quanto ao pré-umedecimento da base, são observados comportamentos distintos para cada tipo de base. Contudo, independente desse pré-umedecimento (0,5 e 1,0 %), os revestimentos atingem a resistência de aderência mínima de 0,2 MPa, requisitada pela NBR 13207 (2017a). Pelas micrografias de amostras de superfícies de blocos cerâmicos que estavam em contato com o revestimento, foi possível visualizar que o pré-umedecimento reduz o intertravamento do revestimento nestas bases, pois há uma menor quantidade de material aderido à superfície quando se analisa amostras com e sem pré-umedecimento da base. Majoritariamente, há diferenças estatisticamente significativas entre manter o substrato cerâmico seco e pré-umedecer, verificadas por ANOVA, sendo a recomendação de não pré-umedecer essas bases para recebimento de revestimento em pasta de gesso. Caso seja necessário limpar a base para

retirada de impureza e de poeira com utilização de água, deve ser feita com antecedência dando tempo para secagem da base.

O comportamento inverso foi verificado com base de bloco de concreto: o pré-umedecimento foi benéfico para a aderência. A tendência geral mostrou que o pré-umedecimento à teores de 0,5% e 1,0% repercutiu um aumento da resistência de aderência em comparação com os sistemas de revestimento executados com a base de bloco de concreto sem pré-umedecimento. Porém, o teor de pré-umedecimento de 0,5% apresentou maior ganho dessa propriedade: até 28,3% para o traço 2 e 9,7% para o traço 3.

O tratamento de bases de concreto com o chapisco convencional de cimento ou com gesso cola foi a solução para melhorar a resistência de aderência em base de concreto, sendo maiores os ganhos com chapisco convencional de cimento. Esse ganho de propriedade está associado a alteração da rugosidade superficial. A textura superficial é um dos principais fatores no desenvolvimento da resistência da união, uma vez que uma maior rugosidade propicia um aumento do intetramento mecânico. Esse aspecto foi verificado através das micrografias dos sistemas de revestimento com substrato de concreto: a pasta de gesso contorna toda a superfície do substrato. No caso de bases de concreto 2 sem tratamento, o revestimento não intertravou no substrato. Esse aspecto pode ser comprovado pelo deslocamento de revestimento e pelas micrografias da superfície da placa do concreto 2 sem tratamento que estava em contato com revestimento: não vestígios de agulhas aderidas na superfície. Esse comportamento é o oposto do observado para as placas de concreto 1 com maior rugosidade<sup>19</sup> e distribuição de poros distinta<sup>20</sup>.

Um outro fator que influencia no resultado de resistência de aderência é a relação a/g das pastas de gesso. A tendência geral para as bases de bloco cerâmico e bloco de concreto é de redução da resistência de aderência quando se aumenta a relação a/g das pastas. Contudo, relações a/g entre 0,6 e 1,0 atenderam ao mínimo de 0,2 MPa requisitado por norma. Nas micrografias e nas imagens por lupa, nenhum comportamento particular do mecanismo de aderência foi observado, dadas a alteração da relação a/g; somente, nas micrografias, os tamanhos das agulhas

---

<sup>19</sup> A maior rugosidade do concreto 1 foi inferida por apresentar um maior teor de agregados, maior relação a/c e menor teor de ligante quando comparado ao concreto 2.

<sup>20</sup> Não foram feitos ensaios de porosimetria com as placas de concreto 1 e 2. Contudo, considerando que ambos foram produzidos com o mesmo material e processo produtivo, diferindo somente da dosagem, pressupõe-se que àquela com maior teor de ligante e menor relação a/c (concreto 2), apresentou distribuição de poros distinta.

prismáticas, característica da morfologia di-hidrato, foi visualizada com diferenciação. O aumento da relação a/g também repercutiu na redução da resistência à compressão e resistência à tração na flexão das pastas. Verifica-se uma tendência de aumento da resistência de aderência com aumento da resistência à compressão, resistência à tração na flexão e dureza para as pastas utilizadas, independentemente do tipo de base do pré-umedecimento. Considerando a teoria de poros ativos, esse aumento da relação a/g poderia repercutir no aumento da penetração da pasta na base, mas isso não foi visualizado. Para análise no MEV, foram coletadas amostras aleatórias e as conclusões obtidas são dependentes do ponto de análise. Essa queda da resistência de aderência pode estar associada à maior porosidade e do tamanho das agulhas prismáticas do di-hidrato na pasta e, conseqüentemente, na região da interface.

É importante salientar que a tendência de acréscimo nos valores de resistência de aderência com a redução da relação a/g foi verificada sob condições estáticas e idade pré-estabelecida, não se considerando as variações das condições ambientes, que podem influenciam nas propriedades mecânicas de pastas de gesso, uma vez que são higroscópicas.

A ruptura nos sistemas de revestimentos em blocos cerâmicos é majoritariamente adesiva (aproximadamente, média de 92%). Possivelmente, esse aspecto está associado ao aspecto liso da superfície de bloco de cerâmico, que dificulta o intertravamento da pasta. As rupturas nos sistemas de revestimentos em blocos de concreto se dão parte por ruptura adesiva e outra parte por ruptura coesiva, sendo esta última majoritárias por falha de substrato. Isso está associado às características dos substratos em bloco de concreto: textura mais rugosa que facilita o intertravamento mecânico na superfície. Nestes últimos substratos, há diminuição da quantidade de ruptura coesiva e aumento da ruptura adesiva em função do pré-umedecimento da base. Nas bases cerâmicas e de bloco de concreto, foi verificada uma leve tendência de aumento da ruptura por coesão do gesso quando se aumenta a relação a/g.

Para sistemas de revestimentos em concreto, quando não houve tratamento da base, com uma camada de ancoragem (chapisco), a ruptura ocorreu somente na interface substrato-pasta, dadas as características superficiais do concreto, independente da resistência da base. Portanto, o tipo de base é um dos fatores que mais influencia na forma de ruptura, onde, nas bases cerâmicas, a ruptura ocorre por aderência e, nos blocos de concreto, podem ocorrer rupturas mistas a depender do traço e do pré-umedecimento da base.

Para investigar se a profundidade de penetração dos produtos de hidratação oriundos do revestimento no interior dos poros dos substratos exerce influência na resistência de aderência,

foi elaborada a Tabela 25, que apresenta em colunas a resistência de aderência e a penetração máxima visualizadas nas micrografias para os sistemas de revestimento analisados por meio de amostras da interface utilizando MEV. Pode-se visualizar pela Tabela 25 que não há correlação direta entre a penetração de produtos hidratados no interior do substrato e a resistência de aderência à tração.

Tabela 25 – Profundidade de penetração dos produtos de hidratação do revestimento na base e resistência de aderência dos sistemas

<b>Parede estudada/ nomenclatura</b>	<b>Profundidade de penetração (µm)</b>	<b>Resistência de aderência (MPa)</b>
BCE-SEC-SCH-PGE0,6	40	0,56
BCE-U1,0-SCH-PGE0,8	17	0,31
BCE-U0,5-SCH-PGE0,8	16	0,39
BCE-SEC-SCH-PGE0,8	17	0,50
BCE-SEC-SCH-PGE1,0	2000	0,47
BCO-SEC-SCH-PGE0,6	36	0,56
BCO-U0,5-SCH-PGE0,8	51	0,57
BCO-SEC-SCH-PGE0,8	100	0,43
PC1-SEC-SCH-PGE0,8	45	0,27
PC2-SEC-CHC-PGE0,8	28	0,60
PC2-SEC-CHG-PGE0,8	11	0,49

Fonte: Autora, 2021.

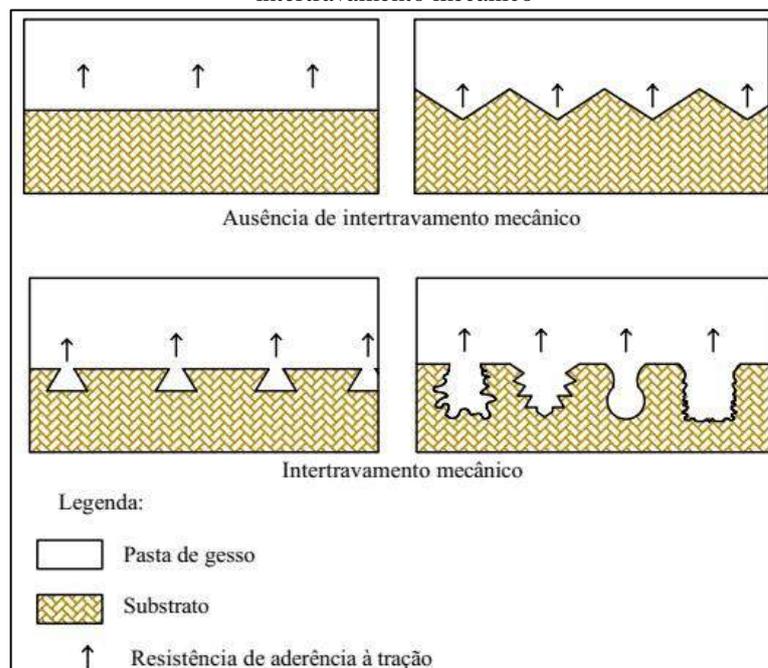
A partir das análises das imagens por lupa com ampliação de 45 x da lupa com 20 x da câmera, foi verificado que a extensão de aderência da pasta de gesso é de nível 10, considerando a metodologia de Carasek (1996).

As informações obtidas pela análise petrográfica corroboraram com características visualizadas por lupa e por MEV: o revestimento contorna a superfície do substrato. Nenhuma particularidade ou característica adicional relativa ao mecanismo de aderência foi verificada por esta metodologia, como a existência de penetração da pasta no substrato ou a formação de produtos por reação química do substrato com o revestimento.

Diante das constatações verificadas nesse estudo, foi elaborado o modelo apresentado na Figura 119, que representa esquematicamente o mecanismo de aderência pasta de gesso-substrato. O esquema mostra que a aderência é essencialmente mecânica, dependendo majoritariamente do intertravamento da pasta na base. Além disso, é importante considerar a resistência a tração do gesso, pois é necessário que se tenha uma base de boa rugosidade e resistência a tração do gesso ideal, uma vez que, caso a base seja bastante rugosa e resistência a tração do gesso seja deficiente, facilmente ocorrerá ruptura do sistema. Para os sistemas de revestimentos em pasta

de gesso estudados, a resistência à tração do gesso foi satisfatória, pois, para a maioria dos sistemas testados (mais de 96%), os valores de resistência de aderência foram maiores que 0,2 MPa. É necessário que a base tenha pontos de que permita essa fixação, como poros, fissuras, reentrâncias, saliências, que facilitem a penetração da pasta de gesso para resultar em maiores valores de resistência de aderência.

Figura 119 - Representação esquemática do mecanismo de aderência pasta de gesso-substrato por meio de intertravamento mecânico



Fonte: Autora, 2021.

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo propôs estudar os fatores de influência na aderência de sistemas de revestimento em pasta de gesso e definir o mecanismo de aderência. Desse modo, o programa experimental foi estruturado de forma a alcançar os objetivos propostos. Neste tópico, são apresentadas as conclusões das análises realizadas em dois tópicos, sendo o primeiro associado aos fatores que exercem influência na aderência e o segundo, em relação ao mecanismo de aderência. Estas conclusões são válidas para os materiais e condições semelhantes ao presente estudo.

### 5.1 FATORES INTERVENIENTES NA ADERÊNCIA

A partir da análise dos resultados, verifica-se que o tipo de substrato, o pré-umedecimento da base, a aplicação de camada de ancoragem e a dosagem da pasta influenciam a aderência do sistema de revestimento em pasta de gesso.

Quanto ao substrato, maiores resistências de aderência são obtidas pela base de bloco cerâmico, seguida base de bloco de concreto e do concreto liso de mais baixa resistência para o de mais alta. Portanto, a base é um fator de influência da resistência de aderência. Contudo, quando se compara somente o substrato cerâmico e o de bloco de concreto, não há diferenças estatisticamente significativas, considerando um nível de confiança de 95%. É importante destacar que, nos blocos de concreto, houve grande quantidade de rupturas coesivas do substrato, sendo a resistência de aderência não determinada.

Foi constatado que o IRA não é um parâmetro para explicar as variações nos resultados de resistência de aderência nos substratos utilizados. Em blocos cerâmicos com uma absorção total entre, aproximadamente, 6 e 10%, a resistência de aderência à tração aumentou com a redução do diâmetro médio do poro, com o aumento da área específica e com o aumento da porosidade, contudo, as diferenças de resistência de aderência não foram estatisticamente significativas, o que está associado à teoria de poros ativos.

O pré-umedecimento da base (0,5% ou 1% da massa seca da parede) influenciou os resultados de resistência de aderência, mostrando comportamentos diferentes em função da base de aplicação do revestimento. Para os blocos cerâmicos, repercutiu em uma queda de resistência de aderência, reduzindo a microancoragem do revestimento e, por consequência, a resistência de aderência. Essa menor aderência foi comprovada pela menor quantidade de material aderido

visualizado por microscopia eletrônica de varredura na superfície de fratura do bloco que estava em contato com o revestimento.

Contudo, para as bases de bloco de concreto, o pré-umedecimento da base causou um aumento da resistência de aderência. Nessas últimas, a estrutura de poros é distinta da base cerâmica, possuindo poros de maiores diâmetros, de modo que o pré-umedecimento pode ter regularizado a absorção do substrato, aumentando os níveis de aderência. O comportamento da resistência de aderência dos revestimentos à base é dependente do teor de umidade dela. A partir do estudo, verifica-se que a eficácia do pré-umedecimento é função do grau de absorção da base e do grau de umedecimento. Para o bloco cerâmico, a recomendação geral é de não pré-umedecer; para o bloco de concreto, recomenda-se o pré-umedecimento de 0,5%. Todavia, essas diferenças de resistência de aderência não foram estatisticamente significativas.

Um outro fator de influência na resistência de aderência de bases de concreto, independente de sua resistência, foi a aplicação de uma camada de ancoragem de chapisco convencional de cimento ou chapisco de gesso cola, uma vez que a textura superficial é um fator que melhora o intertravamento mecânico. Os maiores ganhos foram com sistemas com chapisco convencional de cimento. Pode-se inferir que isso está associado à maior compatibilidade de materiais da base com o chapisco convencional de cimento.

A alteração no traço (relação a/g) dos revestimentos foi um fator de alteração da resistência de aderência. Os traços executados com maior relação a/g apresentaram redução da resistência da aderência, independente o tipo de base ou do seu pré-umedecimento. Foi observado por microscopia eletrônica de varredura que as agulhas prismáticas, característica do di-hidrato crescem mais com o aumento da relação a/g, causando uma queda das propriedades mecânicas (resistência à compressão, à tração na flexão e da dureza).

Os fatores mencionados, como tipo de substrato, tipo de revestimento e condição de umidade do substrato, influenciam nos resultados de resistência de aderência. Todavia, esses fatores podem não ser independentes, de forma que não foi encontrado um parâmetro que explicasse bem e de modo geral o comportamento da resistência de aderência sobre os diversos substratos. Por exemplo, para um mesmo substrato, a aderência dependerá, também, do tipo de revestimento.

Acerca do tipo de ruptura, nos blocos cerâmicos, a ruptura dos corpos de prova ocorreu predominantemente por adesão (92 %). As rupturas nos sistemas de revestimentos em blocos

de concreto se dão parte por ruptura adesiva e outra parte por ruptura coesiva, sendo esta última majoritárias por falha de substrato. Isso está associado às características dos substratos em bloco de concreto: textura mais rugosa que facilita o intertravamento mecânico na superfície. Nas bases de bloco cerâmico e de bloco de concreto, verifica-se uma leve tendência de aumento da ruptura por coesão da pasta de gesso com o aumento da relação a/g, pois a pasta de gesso apresenta uma redução da resistência mecânica com o aumento da relação a/g.

Para sistemas de revestimentos em concreto, quando não houve tratamento da base como uma camada de ancoragem (chapisco), a ruptura ocorreu somente na interface substrato-pasta, dada as características superficiais do concreto. Em sistemas de base de concreto com camada de ancoragem de cimento, as rupturas em sua maior parte ocorreram na interface chapisco-pasta (55,5%). Em sistemas de base de concreto com camada de ancoragem de gesso cola, as rupturas em sua maior parte ocorreram na interface substrato-gesso cola (47,5%). Essas formas de ruptura estão associadas à compatibilidade dos materiais dentro de cada sistema: chapisco de cimento é mais compatível com o concreto da base e o chapisco de gesso cola é mais compatível com o gesso da pasta.

O tipo de base é um dos fatores que mais influencia na forma de ruptura, onde, nas bases cerâmicas, a ruptura ocorre por aderência e, nos blocos de concreto, podem ocorrer rupturas mistas a depender do traço e do pré-umedecimento da base.

Por meio de análises da interface por meio de lupa estereoscópica, independentemente do tipo de base, o revestimento contorna a superfície, tendo uma extensão de aderência de quase 100%, devido à alta trabalhabilidade da pasta para aplicação. Essa extensão de aderência foi ratificada pela microscopia eletrônica de varredura.

## 5.2 MECANISMO DE ADERÊNCIA

Alterações nas micrografias pela mudança do tipo de base, da relação água/gesso e do pré-tratamento da base foram constatadas por meio do MEV. Há indícios de penetração de material dos revestimentos nos substratos de blocos cerâmico, bloco de concreto e em um tipo de concreto (mais baixa resistência - 8,140 MPa). O aumento da relação a/g repercutiu no aumento do tamanho das agulhas prismáticas de di-hidrato, que causou redução de propriedades mecânicas e o pré-umedecimento reduz a quantidade de material depositado sobre a superfície do bloco cerâmico após a ruptura.

Quanto ao mecanismo de aderência do sistema de revestimento à base de gesso, a partir da investigação realizada, a aderência é predominantemente mecânica, relacionada com a rugosidade, de modo que o revestimento contorna todas irregularidades da superfície do substrato, com extensão de aderência de, aproximadamente, 100%, comprovados por lupa estereoscópica e por MEV, e penetra em seus poros e trincas. Nenhuma estrutura morfológicamente distinta daquelas encontradas nos revestimentos ou no substrato é encontrada na interface. Quanto à penetração de íons do revestimento no substrato, não foi definida sua existência ou profundidade, uma vez que os elementos do substrato e do revestimento são semelhantes, dificultando a análise de mapeamentos químicos das amostras do sistema de revestimento e necessitando de maiores investigações. Contudo, foi comprovada a penetração da pasta no substrato por meio da presença de agulhas prismáticas nos substratos na interface.

A aderência é essencialmente mecânica, dependendo majoritariamente do intertravamento da pasta na base. Contudo, é importante considerar a resistência à tração do gesso, pois é necessário que se tenha uma base de boa rugosidade e resistência à tração do gesso ideal, pois, caso a base seja bastante rugosa, auxiliando no bom intertravamento mecânico, e resistência a tração do gesso seja deficiente, facilmente ocorrerá ruptura do sistema.

### 5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nos resultados desta pesquisa, sugere-se a continuação e aprofundamento do estudo através dos seguintes temas:

- Estudo de dosagem de argamassas de gesso;
- Avaliação da aderência de argamassas de gesso;
- Avaliação da durabilidade da aderência de pastas de gesso em diferentes idades submetida a distintos fatores de exposição;
- Análise de desempenho de sistemas de revestimento em pasta de gesso com aditivos hidrofugantes;
- Estudo do mecanismo de aderência de sistemas de revestimento em pasta de gesso com diferentes tipos de camadas de ancoragem (chapisco);
- Análise do tempo mínimo de espera para aplicação da pasta de gesso e realização do acabamento;

- Determinação de espessuras mínimas e máximas para aplicação de revestimentos em pasta de gesso;
- Definição de método de ensaio para avaliação da resistência de aderência de pasta de gesso;
- Avaliação da formação de produtos expansivos do gesso com contato com pastas cimentícias;
- Estudo da utilização do gesso reciclado para revestimento.

## REFERÊNCIAS

ABREU, E. M. X.; BARROS, J.V.; FERREIRA, R. A. S.; SILVA, C.L.; SOUZA, D.F; YADAVA, Y.P. Análise Microestrutural do Efeito de Diferentes Pós Hemitratado no desempenho dos Moldes de Gesso. Anais de 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica In: 47º Congresso Brasileiro de Cerâmica. **Anais...** João Pessoa. 2003. v. 1. p. 21-30.

ACCORSI, C. L. Comparativo do desempenho de revestimento argamassado e revestimento com pasta de gesso. **Revista Online Ipog Especialize**. 2015. 17 p.

ADRIEN, J.; MEILLE, S.; TADIER, S.; MAIRE, E.; SASAKI, L. In-situ X-ray tomographic monitoring of gypsum plaster setting. **Cement and Concrete Research** 82 (2016), p. 107–116.

AGUIAR, G.; SELMO, S. M. S. **Estudo de argamassa com agregados reciclados contaminados por gesso de construção**. São Paulo: EPUSP, 2004. 20. Boletim técnico.

AKKARI, A. M. P.; SOUZA, U. E. L. Avaliação da produtividade e das perdas no serviço de revestimento de gesso liso e sarrafeado em paredes e tetos. In: Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção (IV SIBRAGEC) e Encontro Latino-americano de Gestão e Economia da Construção (I ELAGEC), 2005, Porto Alegre. **Anais...** Construção na América Latina: inclusão e modernização. Porto Alegre: ANTAC, 2005.

ALMEIDA, Y. K. R. **Estudo de resistência de aderência de revestimento executados com pasta de gesso, considerando diferentes substratos**. 2014. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Fundação Universidade Federal Vale do São Francisco.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C 1794-19 (2019)**: Standard test methods for determination of the water absorption coeficiente by partial immersion. West Conshohocken, PA, 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C28/C28M - 10 (2015)**: Standard Specification for Gypsum Plasters. West Conshohocken, PA, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C471M – 20ae1**: Standard Test Method for Melting and Crystallization Temperatures by Thermal Analysis, West Conshohocken, PA, 2020.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C472 - 99 (2014)**: Standard Test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters and Gypsum Concrete, West Conshohocken, PA, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM C842 - 05 (2015)**: Standard Specification for Application of Interior Gypsum Plaster, West Conshohocken, PA, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM E2270 - 14:** Standard Practice for Periodic Inspection of Building Facades for Unsafe conditions, West Conshohocken, PA, 2019.

ANDRADE, A. C.; SOUSA, J. G. G.; FERRAZ, A. V.; OLIVIER, N. C. Avaliação de pastas de gesso com aditivo incorporador de ar. In: Encontro Nacional De Tecnologia Do Ambiente Construído - XVI ENTAC, 2016, São Paulo, SP. **Anais** do ENTAC 2016, 2016.

ANTUNES, R. P. N. **Estudo da influência da cal hidratada nas pastas de gesso.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. 134p.

ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassas.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005. 162 p.

ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. Influência da cal hidratada nas pastas de gesso endurecidas. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, VIII, 2000, Salvador/BA. **Anais** do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Salvador: ANTAC, 2000.

ARAFAH, A.; ALZAID, R.; AL-HADDAD, M. Influence of non-standard curing on the strength of concrete in arid areas. **Cement and Concrete Research**, n. 26, p. 1341- 1350, september. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Manual de revestimentos de argamassa.** 1. ed. São Paulo, SP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12118:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013a. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12127:** Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 2019a. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12128:** Gesso para construção: Determinação das propriedades físicas da pasta. Rio de Janeiro, 2019b. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129:** Gesso para construção: Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2017f. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12129:** Gesso para construção: Determinação das propriedades mecânicas. Rio de Janeiro, 2019c. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12130:** Gesso para construção - Determinação da água livre e de cristalização e teores de óxido de cálcio e anidrito. Rio de Janeiro, 2017b. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13207**: Gesso para construção civil - Requisitos. Rio de Janeiro, 2017a. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-1**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2019e. 3p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-2**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 2: Aderência ao substrato. Rio de Janeiro, 2019f. 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528-3**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração - Parte 3: Aderência superficial. Rio de Janeiro, 2019g. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013b. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013c. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13867**: Revestimento interno de paredes e tetos com pasta de gesso - Materiais, preparo, aplicação e acabamento. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081-2**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2015. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14082**: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Execução do substrato-padrão e aplicação de argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2004. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15258**: Argamassa para revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2005. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021. 98p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16618**: Revestimento interno em gesso de paredes e tetos - Procedimento. 2017e. 3 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16689**: Gesso modificado – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2019d. 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2016. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7200**: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15270-1**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017d. 26 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-15270-2**: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria - Parte 2: Métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017c. 29 p.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMATIZAÇÃO. **NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – determinação da massa específica. 11p, 2000.

BACKELANDT, A. **Etude dès mecanismes d’adhesion a l’interface resine/ciment em vue de la reparation dès ouvrages de genie civil**. Ecole Doctorale: Materiaux de Lyon, Spécialité: Génie dès Materiaux. Institut National dès Sciences Appliquées de Lyon. 2005.

BAKER, L.R. Some Factors Affecting the Bond Strength of Brickwork. **Proc. of 5th International Brick Masonry Conference**, Washington, DC, pp. 62-72, 1979.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. de F.; BORGES, L.E.P. Variedades mineralógicas e processos utilizados na produção dos diferentes tipos de gesso. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 2004, Florianópolis. XX Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, **Anais...** 2004. v. 01. p. 769-776.

BALTAR, C. A. M.; BASTOS, F. de F.; LUZ, A. B. Gipsita. In: Adao Benvindo da Luz; Fernando Antonio Freitas Lins. (Org.). **Rochas & Minerais Industriais**. 1ed. Rio de Janeiro: CETEM, 2005, v. 1 c21, p. 449-470.

BALTAR, L. M. **Influência da adição de polissacarídeos nas propriedades físicas do gesso alfa**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 117 p. 2009.

BARBOSA, A. A.; FERRAZ, A. V.; SANTOS, G. A. Caracterização química, mecânica e morfológica do gesso obtido do pólo do Araripe. **Cerâmica (São Paulo. Impresso)**, v. 60, p. 501-508, 2014.

BARDELLA, P. S. **Análise das Propriedades de Pastas de Gesso de Construção Reciclado**. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 2011. Tese (Doutorado). 235 p.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas: Editora da Unicamp, 2001. 401p.

BAUER, E. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho**. 1987. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1987. 188p.

BAUER, E. **Sistemas de revestimento de argamassa - generalidades**. In: BAUER, Elton (Coord.). Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades. Brasília: LEM-UnB; Sinduscon-DF, 2005. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**. 5. ed. Volume 1. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos (LTC), 2000. 448 p.

BECERE, O. H. **Revestimentos de ligantes sintéticos: proposta de métodos de ensaios para avaliação de desempenho**. Dissertação (mestrado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2007. 202 p.

BÉLAIR JUNIOR, N. **Contribution à la mise au point d'une procédure de caractérisation quantitative des surfaces en béton en vue de travaux de réfection**. Maîtrise en Génie Civil. Faculté des Sciences et Génies. Université Laval. Québec. Décembre, 2005.

BELMILOUDI, A.; MEUR, G.L. Mathematical and numerical analysis of deshydration of gypsum plasterboards exposed to fire. **Elsevier: applied mathematics and computation** b163, p. 1023 -1041, 2005.

BERNHOFET, L. F.; GUSMÃO, A. D.; PÓVOAS, Y. V. Influência da adição de gesso no calor de hidratação da argamassa de revestimento interno. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 189-199, abr./jun. 2011.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção** – São Paulo: Editora Oficina de textos, 414p., 2010.

BOTAS, S. M. S.; VEIGA, M. R.; VELOSA, A. L. Adhesion of Air Lime–Based Mortars to Old Tiles: Moisture and Open Porosity Influence in Tile/Mortar Interfaces. **Journal of Materials in Civil Engineering**, 04014161-2, 2014.

BOUSTINGORRY, P.; GROSSEAU, P.; GUYONNET, R; GUILHOT, B. The influence of wood aqueous extractives on the hydration kinetics of plaster. **Cement and Concrete Research** 35 (2005) 2081 – 2086.

BREA, F. M. Resistência de Aderência e Tempo em Aberto de Argamassas Colantes Com Adição de Éteres de Celulose. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ARGAMASSAS, 5., São Paulo, 2003. **Anais...** São Paulo, 2003.

BREITSAMETER, B. **Revestimento interno de paredes e tetos: estudo comparativo dos sistemas pasta de gesso e argamassa do tipo massa única.** Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 77 p. 2012.

BURKARTER, E. **Construção de imagens por padrões hidrofóbico/hidrofílico.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Física do Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2006.

CAMPOS, M. O. **Estudo da resistência de aderência à tração e ao cisalhamento de revestimentos de argamassa em substratos de concreto.** 321 f. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2014.

CAMPOS, M. O.; CARASEK, H.; OLIVEIRA, L. R.; VARGAS, C. L.; JUST, A. Determinação da resistência de aderência ao cisalhamento de revestimentos de argamassa pelo método do cisalhamento direto de solos. In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2014, Porto Alegre - RS. **Anais do XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas (no prelo)**, 2014.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. Avaliação do tipo de preparo da base nas características superficiais do substrato e dos revestimentos de argamassa. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. 8., 2000, Salvador, **Anais...** Salvador: ANTAC, 2000. v. 2, p. 900-907.

CANDIA, M. C.; FRANCO, L. S. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa.** São Paulo: EPUSP, 1998. 13p. Boletim técnico.

CANDIA, M.C. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa.** São Paulo, 1998. 262p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

CANDIA; M. C.; FRANCO, L. S. **Resistência de aderência ao cisalhamento da alvenaria estrutural não armada de blocos cerâmicos.** São Paulo: EPUSP, 1995. Boletim Técnico PCC n 140.

CANUT, M.M.C. **Estudo da viabilidade do uso do resíduo fosfogesso como material de construção.** 2006. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. 154p.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação.** Tese, USP, São Paulo, 1996.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil**. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 28, p. 893-944.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; CINCOTTO, M. A.; DJANIKIAN, J. G. Microestrutura da interface argamassa/tijolo cerâmico. In: **Anais** do II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, II SBTA, Salvador, 1997. p. 467-481.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; JUCÁ, T. Estudo de casos de descolamento de revestimentos de argamassa aplicado sobre estrutura de concreto. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 6., 2005. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2005. p. 551-561.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, IV, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília: PECC / ANTAC, 2001.

CARASEK, H.; SCARTEZINI, L. M. B. Evolução da resistência de aderência dos revestimentos de argamassa mista. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, III. Vitória, 1999. **Anais**, Antac, Vitória, 1999, v. 2, p. 503-515.

CARDOSO, F. A.; AGOPYAN, A. K.; CARBONE, C.; PILEGGI, R. G.; JOHN, V. M. Squeeze flow as a tool for developing optimized gypsum plasters. **Construction and Building Materials** 23 (2009) p. 1349–1353.

CARNEIRO, A. M. P. **Revestimento Externo em Argamassa de Cimento, Cal e Areia – Sistemática das Empresas de Construção Civil de Porto Alegre**. 1993. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CARVALHO JUNIOR, A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. Tese (doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005. 331 p.

CARVALHO JÚNIOR, A. N.; SILVA, A. P.; FRANÇA, E. P. Estudo comparativo entre argamassas de cimento e argamassas mistas de cimento e cal para uso em emboço. In: I Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas, 1995, Goiânia. **Anais** do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia em Argamassas, 1995. p. 261-270.

CARVALHO, D. P. **Estudo da interface entre blocos cerâmicos e argamassas de chapisco**. 2016. 207 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Maria, 2016.

CASALI, J.M. **Estudo da interação entre argamassa de assentamento e bloco de concreto para alvenaria estrutural: transporte de água e aderência**, Tese de D.Sc., Programa de Pós-Doutorado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC., 2008.

CEMENT & CONCRETE ASSOCIATION OF AUSTRALIA (CCAA). **Bond Strength in Masonry Construction**. Technical note, n. 65, p. 1-8, 2001.

CHASE, G. W. **Characterization of the interface between brick and mortar**. Dissertation. Iowa State University, Iowa, 1983. 213 p.

CHRISTY, C. F.; SHANTHI, R. M.; TENSING, D. Bond strength of the brick masonry. **International Journal Of Civil Engineering and Technology**. Volume 3, Issue 2, July-December (2012), pp. 380-386.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: Análise e recomendações**. 2.ed. São Paulo, IPT, 1989 (publicação n. 1801).

CINCOTTO, M.A.; AGOPYAN, V.; FLORINDO, M.C. **O gesso como material de construção – composição química (1ª parte)**. In: INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). Tecnologia das Edificações. São Paulo, 1985. p. 23-26.

CLIFTON, J. R. **Some aspects of the setting and hardening of gypsum plaster**. NBS Technical Note 755, 1973.

CONINCK, J.; DUNLOP, F.; HUILLET, T. Metastable wetting. **Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment**, IOP Science, 2011.

COSTA E SILVA, A. J. da; DELGADO, J. M. P. Q.; AZEVEDO, A. A. C. de. Avaliação experimental dos fatores de influência na aderência de revestimentos de gesso em pasta. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 349-357, abr./jun. 2021.

COSTA, E. B. C. **Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias**. Tese (doutorado). 156 p. Universidade Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

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, 2009.

COSTA, E. **Investigação do método de ensaio de determinação da resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007. 205p.

CUNHA, T. A. **Viabilidade da Projeção de Gesso na Construção Civil: Estudo de Caso Edifício Douro Tambaú Residence Club**. 2015. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba, Araruna, 2015.

DAVISON, J. I. Loss of Moisture from Fresh Mortars to Bricks. **Materials, Research and Standards**, ASTM Vol. 1, pp. 385-389. 1961.

DE MILITO, J. A. **Avaliação do comportamento de pastas de gesso com cimento portland e sílica ativa para revestimento.** Campinas, SP, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - FEC, Universidade Estadual de Campinas. 228p.

DELGADO, C. B.; PIRES SOBRINHO, C. W. A. Revestimentos de gesso (pasta e argamassa) determinação das propriedades mecânicas. II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. **Anais...** Salvador – BA, 11 p. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Anuário Mineral Brasileiro.** Brasília: DNPM, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Sumário Mineral 2018: gipsita.** Brasília: DNPM, 2018, 3 p.

DÉTRICHÉ, C. H.; GRANDET, J. Influence de la succion des supports poreux sur la prise et la résistance au cisaillement des mortiers moulés à leur contact. **Matériaux et Contructions**, v. 14, n.80, p.91-102, 1981.

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

DIAMOND, S. Aspects of concrete porosity revisited. **Cement and Concrete Research.** 1999, vol. 29. p. 1181 - 1188.

DIAS, A. M. N.; CINCOTTO, M. A. **Revestimento à base de gesso de construção.** São Paulo: EPUSP, 1995. Boletim Técnico PCC n. 142.

DUALIBE, R. P.; CAVANI, G. R.; OLIVEIRA, M. C. B. Influência do tipo de projeção da argamassa na resistência à tração e permeabilidade à água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2005. p. 508-517.

DUBAJ, E. **Estudo comparativo entre traços de argamassa de revestimento utilizadas em Porto Alegre.** 2000. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

DUPIN, I.; DÉTRICHÉ, 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 Contructions**, 1988, vol. 21, p. 370 - 378.

EBNESAJJAD, S. **Adhesives technology handbook.** William Andrew Pub.: 2008.

ERBS, A.; NAGALLI, A.; MYMRINE, V.; CARVALHO, K. Q. Determinação das propriedades físicas e mecânicas do gesso reciclado proveniente de chapas de gesso acartonado. **Cerâmica** 61 (2015) 482-487.

EUROPEAN STANDARD. **EN 13279-1**: Gypsum binders and gypsum plasters. Definitions and requirements. 2008.

EUROPEAN STANDARD. **EN 13279-2**: Gypsum binders and gypsum plasters: Test methods. 2004.

FERREIRA, D. C. E. **Avaliação das propriedades de argamassas de gesso para revestimento produzidas com aditivo plastificante e aditivo incorporador de ar**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2018. 61 f.

FERREIRA, F. C. **Estudo de caracterização do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2017. 204 f.

FERREIRA, F. C.; SOUSA, J. G. G.; CARNEIRO, A. M. P. Caracterização mecânica do gesso para revestimento produzido no Polo Gesseiro do Araripe. **Ambient. constr.** vol.19 no.4 Porto Alegre out./dez. 2019a.

FERREIRA, F. C.; SOUSA, J. G. G.; CARNEIRO, A. M. P. Study of properties of gypsum plasters of Araripe's Pole for application in restoration mortars. In: 5th Historic Mortars Conference, 2019, Pamplona. **Proceedings of the 5th Historic Mortars Conference**, PRO 130, 2019b.

FIGUEIREDO, S. S. **Análise de superfícies foliares: um estudo sobre a entropia como parâmetro de uniformidade superficial e a superhidrofobicidade da espécie vegetal *Thalia geniculata* (LINEU, 1753)**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Amapá. Macapá, 2015.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; BRANCO, F. A. **Avaliação in-situ da aderência de materiais de revestimento**. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, APFACAt: Lisboa, Portugal. 2007.

FONSECA, A. F. C. **Revestimentos pré-doseados de gesso**. Dissertação. Técnico Lisboa. 2014. 177 p.

FRANCO, L.S.; COLLANTES M. Desenvolvimento de um método de ensaio de resistência de aderência ao cisalhamento. In: VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1999, Salvador. **VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 1999.

FREIRE, M.T.; VEIGA, M.R.; SILVA, A. S.; BRITO, J. Studies in ancient gypsum based plasters towards their repair: Physical and mechanical properties. **Construction and Building Materials** 202 (2019) 319–331.

GARTNER, E. M. Cohesion and expansion in polycrystalline solids formed by hydration reactions - The case of gypsum plasters. **Cement and Concrete Research** 39 (2009) p. 289–295.

GASPAR, S. M. G. **Análise da interface entre elementos de parede e camadas de revestimento**. Dissertação (mestrado). Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2011. 129 p.

GMOUH, A.; EVE, S.; SAMDI, A.; MOUSSA, R.; TRICHA, L.; AAZZAB, B.; HAMEL, J.; GOMINA, M. Development and validation of a dimensional variation measurement set: application to the plaster setting. **Materials Science and Engineering A**, EUA, n. 372, p.123-127, 2004.

GONÇALVES, S. R. C. **Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa – estudo de caso**. 167 p. Dissertação (mestrado). Universidade de Brasília. Brasília. 2004.

HATTGE, A. F. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004. 136 p.

HENAO, A. M. H; CINCOTTO, M. A. **Seleção de substâncias retardadoras do tempo de pega do gesso de construção**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, n. 184, 1997.

HERNÁNDEZ-OLIVARES, F.; BOLLATI, M.R.; RIO, M. Del; PARGA-LANDA, B. Development of cork-gypsum composites for building applications. **Construction and Building Materials**, v.13, p. 179-186,1999.

HINCAPIÉ, A. M.; CINCOTTO, M. A. Efeito de retardadores de pega nos mecanismos de hidratação e na microestrutura do gesso de construção. **Ambiente Construído** (São Paulo), São Paulo, v. 1, n.2, p. 7-16, 1997.

HINCAPIÉ, A. M.; OLIVEIRA, C. T. A.; TAKEASHI, M. S.; CINCOTTO, M. A.; SELMO, S. M. Revestimento de Gesso Liso- Avaliação da Aderência e Dureza Superficial, Sobre Diversos Substratos. In: GYPSUM FAIR, Olinda, 1997. **Anais...** Olinda, 1997.

IOPPI, P. R. **Estudo da aderência de argamassas de revestimento em substratos de concreto**. Dissertação (mestrado). UFSC. Florianópolis, 1995. 135 p.

IOPPI, P. R.; PRUDÊNCIO, L. R.; IRIYAMA, W. J. Estudo da absorção inicial de substratos de concreto: Metodologias de ensaio e influência na aderência das argamassas de revestimento. **I Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas - I SBTA**. Antac. Goiânia. 1995.

JOHN, V. M.; ANTUNES, R. P. N. Argamassas de Gesso. **Ambiente Construído** (São Paulo), Porto Alegre, v. v2, n.1, p. 29-38, 2002.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. Gesso de Construção Civil. In: ISAIÁ, G. C. **Materiais de Construção Civil**. São Paulo: IBRACON, 2007. Cap. 22.2, p. 727-760.

KAMPF, L. Factors affecting bond of mortar to brick. **Symposium on Masonry Testing**. American Society for Testing and Materials, 1963. p.127-142. (ASTM Special Technical Publication, 320).

KANNO, W. M. **Propriedades mecânicas do gesso de alto desempenho**. 2009. 130f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos. 2009.

KARNI, J.; KARNI, E. Gypsum in Construction: origin and properties. **Materials and Structures**, v. 28, n. 176, p.92-100, 1 mar. 1995.

KAZMIERCZAK, C. S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO D. Influência das características da base na resistência de aderência à tração e na distribuição de poros de uma argamassa. **Estudos tecnológicos** – v. 3, n° 1:47-58 (Jan/Jun 2007).

LAFUMA, A.; QUÉRÉ, D.; Superhydrophobic states, **Nature materials**. Vol. 2, 457–460, 2003.

LAMANA, A.; DELFIN, F.; BULLEMORE, M. Adherencia entre mortero y bloques de hormigón: influencia de diferentes variables. **Revista del IDIEM**, v.9, n.2, p.79-102. 1970.

LANZÓN, M.; GARCIA-RUIZ, P. A. Effect of citric acid on setting inhibition and mechanical properties of gypsum building plasters. **Construction and Building Materials** 28 (2012) 506–511.

LAWRENCE, S. J.; PAGE, A. W. Bond studies in masonry. **Proceedings of 10th International Brick and Block Masonry Conference**, Calgary, Canada, 1994, p. 909 – 917.

LAWRENCE, S.J.; CAO, H.T. Microstructure of the interface between brick and mortar. In: International Brick/Block Masonry Conference, 8., 1988, Dublin. **Proceeding...** Dublin: Elsevier Applied Science. v.1, p.194-204.

LEAL, F. E. C. B. **Estudo do desempenho do chapisco como procedimento de prevenção de base em sistemas de revestimento**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2003, 109p.

LEWRY, A. J.; WILLIAMSON, J. The setting of gypsum plaster – Part I – The hydration of calcium sulphate hemihydrate. **Journal of Material Science**, v. 29, p. 5279-84, 1994a.

LEWRY, A.J.; WILLIAMSON, J. The setting of gypsum plaster - Part II - The development of microstructure and strength, **Journal of Material Science**, 29 (1994b) 5524– 5528.

LNEC. **Regras para a concessão de documentos de aplicação a revestimentos pré-doseados de gesso para paramentos interiores de paredes e tetos**. Proc°. 0803/11/16205. Portugal. 2008.

MAEDA, F. M.; SOUZA, U. E. L. **Previsão da produtividade da mão-de-obra na execução de revestimento interno em gesso.** Boletim técnico, n. 332. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2003.

MARTINES, E.; SEUNARINE, K., MORGAN, H.; GADEGAARD, N.; WILKINSON, C. D. W., RIEHLE, M. O. Superhydrophobicity and superhydrophilicity of regular nanopatterns, **Nano letters.** Vol. 5, 2097–2103, 2005.

MCGINLEY, W.M. IRA and the flexural bond strength of clay brick masonry. **Masonry: components to assemblages.** Philadelphia: ASTM. p.217-234. 1990 (ASTM STP 1063).

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 1 ed. São Paulo: PINI, 1994. 581 p.

MELO, S. K. **Estudo da formação da etringita tardia em concreto por calor de hidratação do cimento.** 2010. 150 f. Dissertação de Mestrado em Geotecnia e Construção Civil – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

MITTAL, K. L. **Adhesion measurement of films and coatings.** Japan: VS, 1995.

MONÇÃO JÚNIOR, A. R. **Otimização das condições experimentais na desidratação da gipsita para obtenção de um gesso beta reciclável.** Dissertação (mestrado). Universidade Católica de Pernambuco. 2008. 66p.

MONTEIRO, P.; MEHTA, P. Interaction between carbonate rock and cement paste. **Cement and Concrete Research** 16, 127–134 (1986).

MONTEIRO, R. S.; MELO, K. A.; UCHOA, S. B. B. Geração de resíduos de gesso em empresas de construção civil de Maceió-AL. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2010, Canela. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre: ANTAC, 2010.

MOTA, J. M. F. **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em motprismas de alvenaria resistente de blocos cerâmicos.** 147 p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2006.

MOURA, C. **Aderência dos revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: análise da influência das condições de temperatura e ventilação na cura da camada de preparo com argamassa de chapisco.** 239 p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2007.

NAKAMURA, J. Normas e legislação – Normas técnicas em construção. **Téchne.** Ed. 78. 2013.

NASCIMENTO, A. F. **Aproveitamento do resíduo de gesso de construções como material alternativo para revestimento.** Recife, 2014. 87 p. Dissertação (mestrado). Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, Recife, 2014.

NEVES, T. H. C. **Avaliação dos tipos de base na aderência de revestimento de gesso em pasta.** Dissertação (mestrado). 126 f. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2018.

NORDINE L. **Contribution à la connaissance de la reaction sulfatique interne.** Thèse (Doctorat genie civil) - Université Paul-Sabatier Toulouse III. Université de Toulouse, Toulouse, France, 2008. 215 f.

OLIVEIRA, N. N. C. **A importância da adoção de medidas preventivas (projeto/execução) na redução da ocorrência de manifestações patológicas em sistemas de revestimento.** 2014. 147 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2014.

PAES, I. L.; BAUER, E; CARASEK, H. Influência da estrutura de poros de argamassas mistas e de blocos de concreto e cerâmico no desempenho dos revestimentos. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2005. v 1. p. 466-476.

PAES, I. N. L. **Avaliação do Transporte de Água em Revestimentos de Argamassa nos Momentos Iniciais Pós-aplicação.** 242 p. Tese, Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Brasília-DF, 2004.

PAES, I. N. L.; GONÇALVES, S. R. C. Dos momentos iniciais pós-aplicação ao desenvolvimento da aderência. In: BAUER, Elton (Coord.). **Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades.** S.l.: S.ed., 2005. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/123/anexo/revesar.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.

PAGNUSSAT, D. T. **Efeito da temperatura de queima de blocos cerâmicos sobre a resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa.** Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. 211 f.

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

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**, v.12, p.609-644, May 1934.

PARRA, B. S.; GENNARI, R. C.; MELCHIADES, F. G; BOSCHI, A. O. Rugosidade Superficial de Revestimentos Cerâmicos. **Cerâmica Industrial**, Vol 11 (2) Março/Abril, 2006.

PÁSCOA, L. S. N. **Índice de secagem como parâmetro em serviço dos rebocos aplicados em paredes exteriores.** Dissertação (mestrado). Técnico Lisboa, 2012. 136 p.

PEREIRA, A. F. N. **Sistema de inspeção e diagnóstico de estuques correntes em paramentos interiores.** Dissertação (mestrado). 170 p. 2008. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

PEREIRA, A.; PALHA, F.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Inspection and diagnosis system for gypsum plasters in partition walls and ceilings. **Construction and Building Materials** 25 (2011) p. 2146–2156.

PEREIRA, E.; SILVA, I. J.; COSTA, M. R. M. M. Avaliação dos mecanismos de aderência entre argamassa colante e substrato não poroso. **Ambiente Construído (Online)**, v. 13, p. 139-149, 2013.

PERES, L.; BENACHOUR, M.; SANTOS, V. A. **Gesso: produção e utilização na construção civil.** Recife: SEBRAE. 2008. 120 p.

PERSSON, B. N. Contact mechanics for randomly rough surfaces. **Surface Science Reports** 61, 201–227 (2006).

PINHEIRO, S. M. M. **Gesso reciclado: avaliação das propriedades para uso em componentes.** 2011, 330 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, São Paulo.

PINTO, A. M. G. **Ligações adesivas entre materiais poliméricos com e sem alteração superficial dos substratos.** Tese de doutorado. Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 372 p. 2007.

PIRES SOBRINHO, C. W. A. **A utilização de pasta de gesso como revestimento interno de paredes e tetos - vantagens e desvantagens.** Associação Politécnica de Consultoria. Policonsult. 2006. 2p. Disponível em: <  
<http://www.trevogesso.com.br/biblioteca/publicacoes-tecnicas/PASTA-DE-GESEO-COMOREVESTIMENTO-INTERNO-DE-PAREDES-E-TETOS.pdf>> Acesso em: 20.08.2016.

POLISSENI, A. E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimento de paredes: método do cachimbo.** 1986. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS, Porto Alegre, 1986.

POLITO, G. **Avaliação da introdução de cal hidratada nas argamassas aplicadas sobre blocos cerâmicos e sua influência no desempenho e morfologia.** Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. 181 p.

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

POSSAN, E.; GAVA, G.P.; PETRAUSKI, S.C. Estudo comparativo do desempenho de argamassas de revestimento produzidas em obra e industrializadas em diferentes substratos. In: **Anais do IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, pp. 1241-1250, Foz do Iguaçu, 2002.

PÓVOAS, Y. V.; JOHN, V.; CINCOTTO, M. A. A influência do HEC e do PVA na perda de água por sucção das argamassas colantes. In: **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 3º, Vitória-ES, 1999.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa**. 2007. 180 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil - PPGEC, UFRGS, Porto Alegre, 2007

PRETTO, M. E. J.; PAGNUSSAT, D. T.; BONIN, L. C.; MASUERO, A. B. Análise da rugosidade de substratos de concreto com diferentes tratamentos superficiais, utilizando scanner tridimensional a laser. **8º Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**, Curitiba, 2009.

QUARCIONI, V. A., CINCOTTO, M. A., THOMAZ, O., OLIVEIRA, M. C. B. Caracterização da porosidade de argamassa mista endurecida de cimento e cal com vistas a durabilidade. **IV Simpósio brasileiro de tecnologia das argamassas**. p. 471-484. Brasília, 2001.

QUINALIA, E. Revestimento de Gesso liso: desempenado ou sarrafeado. **Revista Técnica**, São Paulo, ano 13, n. 99, p. 36-38, jun. 2005.

RECUM, A. F. V.; SHANNON, C. E.; CANNON, C. E. Surface Roughness, Porosity, and Texture as Modifiers of Cellular Adhesion. **Tissue Engineering** 2, 241–253 (1996).

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

RIBAR, J.W.; DUBOVOY, V.S. Investigation of masonry bond and surface profile of brick. In: H.A. HARRIS, ed. **Masonry: materials, design, construction, and maintenance**, American Society for Testing Materials, 1988, p.33-37. (ASTM Special Technical Publication, 992).

RIBEIRO, A. S. **Estudo e Otimização do Processo de Produção de Gesso Reciclado a partir de Resíduos da Construção Civil**. 2011. 312 f. Tese de Doutorado – Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco, Pernambuco, 2011.

ROCHA, E.; MEDEIROS, E.; GABRIEL, F.; UCHÔA, J.; MARLO, J.; SANTOS, L.; MEDEIROS, P. **Sistemas de revestimentos – Diagnóstico Local** – Brasília/DF. 2004. 32 p. Universidade de Brasília UnB. Disponível em: Acessado em 04/09/2016.

ROSSI-DORIA, P. R. Report on the RILEM workshop “Ancient mortars and mortars for restoration”. **Materials and Structures/Matériaux et Constructions**, v.23, p.235-238, 1990.

ROSSIGNOLO, J. A.; AGNESINI, M.V.C. 1999. Propriedades da argamassa de cimento Portland modificada com látex estireno-butadieno para revestimento de fachadas: Estudo de caso. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 3. **Anais...** Vitória, ANTAC, p. 267-279.

RUDUIT, F. R. **Contribuição ao Estudo da Aderência de Revestimentos de Argamassa e Chapiscos em Substrato**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009. 175 p.

SALES, A. T. C.; SANTOS, D. G.; RIBEIRO, K. F. Resistência à flexão e aderência de pasta de gesso obtida por reciclagem de resíduos. In: XV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Qualidade no Processo Construído, 2014, Maceió, **Anais...** 2014. p. 2404-2412.

SANTOS, H. B. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 50 p. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANZ-ARAUZ, D. **Análisis del yeso empleado en revestimientos exteriores mediante técnicas geológicas**. Tese de doutorado, UPM, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas. 314 p. 2009.

SARAIVA, A. G.; BAUER, E.; GONCALVES, S. R. C.. Variabilidade de Aderência de Revestimentos de Argamassa. **Téchne: Revista de Tecnologia da Construção**, São Paulo, v. 6, p. 70-74, 2010.

SATO, N. M. N.; ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. M. Influência da porosidade nos processos de fixação e transporte de água em pastas de gesso. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2001, Brasília. IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, **Anais...** Brasília: SBTA, 2001. p. 485-497.

SCARTEZINI, L. M.. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca**. 2002. 262f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassas. In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, V. São Paulo, 2003. **Anais**, Antac, São Paulo, 2003, p. 569-581.

SCARTEZINI, L.M.B.; JUCA, T.R.; TEIXEIRA, F.; ANTONELLI, G.; CASCUDO, O. e CARASEK, H. 2002. Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa. **Revista Ambiente Construído**, 2:85-92.

SCHMITZ, I. B. T. A.; PÓVOAS, Y. V. Estudo do desempenho da pasta de gesso com adição de seu resíduo como revestimento interno de paredes. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, **Anais...** Curitiba, 2009.

SCHULLER, D.; BIANCHI, E. C.; AGUIAR, P. R. A. Influência de defeitos e diferentes processos de fabricação nas propriedades mecânicas finais das cerâmicas. **Cerâmica**, v. 54, p. 435-442, 2008.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo dos edifícios**. São Paulo: CPGECC/EPUSP, 1989. Dissertação (mestrado). 227 p.

SHENG, Y. J.; S. JIANG, S.; TSAO, H. K. Effects of geometrical characteristics of surface roughness on droplet wetting. **The Journal of Chemical Physics**, vol. 127, no. 23, p. 234704, Dec. 2007.

SHIRTCLIFFE, N. J.; MCHALE, G.; ATHERTON, S.; NEWTON, M. I. An introduction to superhydrophobicity. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.161, p.124-138, 2010.

SILVA, A. P.; STARLING, C. M. D. ; ARAÚJO, P. H. M.. Estudo do desempenho físico e mecânico em gesso aditivado para acabamentos na construção civil. In: VII ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído Qualidade no Processo Construído, 1998, Florianópolis, **Anais...** 1998. p. 21-28.

SILVA, J. M. B. **Estudo da durabilidade do revestimento de paredes exteriores**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2013. 188p.

SILVA, M. G. S. **Desenvolvimento de compósitos à base de gesso e pó de fibras de coco**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Sergipe. Sergipe. 2010. 84 p.

SILVA, M.G.; SILVA, V.G. Painéis de vedação. In: **Painéis de gesso acartonado**. Manual:. Instituto Brasileiro de Siderurgia. Centro Brasileiro da Construção em Aço. Rio de Janeiro, 2004. p. 51-59.

SILVA, V. S. **Aderência de chapiscos em concretos estruturais – melhoria da microestrutura da zona de interface pela adição da sílica da casca de arroz**. 229 f. Tese (doutorado). Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004.

SILVA, V. S.; GOMES, A. O.; SANTOS, S. A. Influência do processo de cura no desempenho das argamassas de chapisco. In: VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2009, Curitiba. VIII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, **Anais...** Curitiba: SBTA, 2009. p. 1-13.

SINDUSGESSO. **Governo promove fórum para debater desenvolvimento do Polo Gesseiro do Araripe**. 2017. Disponível em: <<https://www.sindusgesso.org.br/governo-promove-forum-para-debater-desenvolvimento-do-polo-gesseiro-do-araripe/>> Acesso em: 20.07.2017.

SINDUSGESSO. **Produtos de gesso terão novas normas**. 2014. Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br/produtos-de-gesso-terao-novas-normas/>> Acesso em: 27.12.2016.

SINGH, N.B.; MIDDENDORF, B. Calcium sulphate hemihydrate hydration leading to gypsum crystallization. **Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials**, 2007, 53(1), pp.57–77.

SISTEMA DE AVALIAÇÃO TÉCNICA DE PRODUTOS INOVADORES E SISTEMAS CONVENCIONAIS. **Diretriz SINAT nº 008 - Alvenarias de blocos de gesso para vedações verticais internas sem função estrutural**. Brasília. 2012.

SONG, K. M.; MITCHELL, J; JAFFEL, H; GLADDEN, L. F. Simultaneous monitoring of hydration kinetics, microstructural evolution, and surface interactions in hydrating gypsum plaster in the presence of additives. **J Mater Sci.**, v.45, p. 5282-5290, 2010.

SOUSA, J. G. G. **Contribuição ao Estudo das Propriedades das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco**. 2005. 233 p. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.

SOUSA, J. G. G.; ALMEIDA, Y. K. R.; ALMEIDA, M. O. Estudo da resistência de aderência de revestimentos executados com pasta de gesso em diferentes substratos. In: **Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 2015, Porto Alegre. XI SBTA, 2015. v. 1.

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. 211 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2011.

SUGO, H.O.; PAGE, A.W.; LAWRENCE, S. J. The Development of mortar/unit bond. In: **Canadian Masonry Symposium**, 9. 2001. Disponível em: <<http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/mortar/>>. Acesso em: 24.03.2020.

TAHA, M. M. R.; EL-DIEB, A. S.; SHRIVE, N. G. Sorptivity: a reliable measurement for surface absorption of masonry brick units. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, Vol. 34, August-September, 2001, pp 438-445.

TEBALDI, A. A.; ALEXANDRE, J.; CORDEIRO, G. C.; XAVIER, G. C.; DÉ SIR, J. M. Avaliação da Produtividade de Processos Construtivos para Revestimentos de Paredes. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO**, 51., 2009, Curitiba. **Anais...** Curitiba: IBRACON, 2009.

TRISTÃO, F.A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** Florianópolis, 1995, Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

TROVÃO, A. P. M. **Pasta de gesso com incorporação de resíduo de gesso e aditivo retardador de pega.** 2012, 158 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro tecnológico, Vila Velha.

TYDLITÁT, V.; MEDVED, I.; CERNÝ, R. Determination of a partial phase composition in calcined gypsum by calorimetric analysis of hydration kinetics. **J Therm Anal Calorim** (2012) 109: p. 57–62.

TYDLITÁT, V.; TESÁREK, P.; CERNÝ, R. Effects of the type of calorimeter and the use of plasticizers and hydrophobizers on the measured hydration heat development of fgd gypsum. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, Vol. 91 (2008) 791–796

VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação.** Tese de doutorado. Lisboa: LNEC e FEUP, 522 p. 1998.

VEIGA, M. R., SILVA, A. S. Mortars, in: B. Ghiassi, P.B. Lourenço (Eds.), LongTerm Perform. Durab. Mason. Struct. Mech. Heal. Monit. Serv. Life Des., **Woodhead Publishing**, 2019, pp. 169-202, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102110-1.00006-6>.

VIEIRA, A. **Caracterização de revestimentos exteriores através de ensaios de arrancamento por tracção.** Dissertação (mestrado) em Engenharia Civil. Porto: FEUP, 118p. 2009.

YAN, Y. Y.; GAO, N.; BARTHLOTT, W. Mimicking natural superhydrophobic surfaces and grasping the wetting process: A review on recent progress in preparing superhydrophobic surfaces. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.169, p.80-105, 2011.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar.** 6ª ed. São Paulo: Pini, 2006.

YE, Q.; GUAN, B.; LOU, W.; YANG, L.; KONG, B. Effect of particle size distribution on the hydration and compressive strength development of  $\alpha$ -calcium sulfate hemihydrate paste. **Powder Technology**, 207 (2011) p. 208–214.

ZANCAN, P. H. **Influência dos parâmetros de deposição na molhabilidade de filmes de a-C:H.** Dissertação (mestrado). Universidade do Estado De Santa Catarina. Joinville, 2017. 73 p.

ZANELATO, E. B. **Influência do chapisco na resistência de aderência à tração de revestimentos de argamassa em blocos cerâmicos.** Dissertação (mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes. 2015. 114 p.

## APÊNDICE A – RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DO GESSO EM PÓ PARA REVESTIMENTO

O gesso em pó foi caracterizado nos estados anidro, fresco e endurecido, seguindo as metodologias de normatizações brasileiras (ABNT). Os resultados individuais de cada caracterização são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela A.1 – Resultados individuais da caracterização granulométrica do gesso em pó para revestimento de acordo com a NBR 12127 (2017a)

<b>Amostra</b>	<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa passante (g)</b>	<b>% passante na peneira de abertura 0,21 mm</b>
1	49,99	49,45	98,92
2	50,01	49,56	99,10
<b>Média</b>			99,01
<b>Desvio padrão</b>			0,13

Fonte: Autora, 2021.

Tabela A.2 – Resultados individuais da caracterização da massa unitária do gesso em pó para revestimento de acordo com a NBR 12127 (2017a)

<b>Amostra</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Volume (l)</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
1	683,08	1,00	0,68
2	671,42	1,00	0,67
<b>Média</b>			0,68
<b>Desvio padrão</b>			0,01

Fonte: Autora, 2021.

Tabela A.3 – Resultados individuais da caracterização da massa específica do gesso em pó para revestimento de acordo com a NM 23 (2000)

<b>Amostra</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Volume (l)</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>
1	50,00	18,70	2,67
2	50,00	18,80	2,66
<b>Média</b>			2,67
<b>Desvio padrão</b>			0,01

Fonte: Autora, 2021.

Tabela A.4 – Padrões difratométricos e de estruturas utilizadas para a análise quantitativa das fases minerais analisadas

Compostos ou fases mineralógicas	Composição mineralógica		Estruturas <sup>1</sup>
	Fórmula molecular	Fórmula resumida	
Bassanita	CaSO <sub>4</sub> · 0,5H <sub>2</sub> O	C <sup>∞</sup> H <sub>0,5</sub>	00-041-0224 (ICSD)
Anidrita	CaSO <sub>4</sub>	C <sup>∞</sup>	00-037-1496 (ICDD)
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CMC	185044 (ICSD)
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	CC	191863 (ICSD)
Quartzo	SiO <sub>2</sub>	S	41672 (ICSD)

<sup>1</sup> Estruturas convertidas a partir dos padrões difratométricos do ICDD e ICSD. Cabe ressaltar que tais fichas e estruturas não são necessariamente as únicas possíveis de serem adotadas, podendo assim surgir variação entre resultados obtidos por diferentes laboratórios, mas não distantes dos dados registrados acima.

Fonte: Autora, 2021.

Tabela A.5 – Resultados individuais da caracterização do tempo de pega do gesso em pasta para revestimento com a consistência normal de acordo com a NBR 12128 (2019b)

Tempo de pega (h:min:s)		
	Início	Fim
Ensaio 1	00:14:37	00:18:22
Ensaio 2	00:15:45	00:20:00
<b>Média</b>	00:15:11	00:19:11
<b>Desvio padrão</b>	00:00:46	00:00:58

Fonte: Autora, 2021.

Tabela A.6 – Resultados individuais da caracterização da resistência à compressão da pasta de gesso para revestimento com a consistência normal de acordo com a NBR 12127 (2017a)

Corpo de prova	R <sub>comp</sub> (MPa)
CP1	17,57
CP2	18,14
CP3	17,63
CP4	18,44
CP5	17,22
<b>Média</b>	17,80
<b>Desvio padrão</b>	0,49

Fonte: Autora, 2021.

Tabela A.7 – Resultados individuais da caracterização da resistência à tração na flexão da pasta de gesso para revestimento com a consistência normal de acordo com a NBR 13279 (2005)

Resistência à tração na flexão (MPa)	
CP1	8,44
CP2	8,25
CP3	8,43
CP4	8,61
<b>Média</b>	8,43
<b>Desvio padrão</b>	0,15

Fonte: Autora, 2021.

Tabela A.8 – Resultados individuais da caracterização da dureza da pasta de gesso para revestimento com a consistência normal de acordo com a NBR 12129 (2019c)

<b>Corpo de prova</b>	<b>Profundidade (mm)</b>	<b>Dureza (N/mm<sup>2</sup>)</b>
Corpo de prova 1	0,22	73,91
	0,22	
	0,24	
Média 1	0,23	
Corpo de prova 2	0,25	66,13
	0,25	
	0,26	
Média 2	0,25	
Corpo de prova 3	0,22	59,13
	0,31	
	0,32	
Média 3	0,28	
Corpo de prova 4	0,37	54,04
	0,29	
	0,27	
Média 4	0,31	
Corpo de prova 5	0,29	55,23
	0,3	
	0,32	
Média 5	0,3	
Corpo de prova 6	0,3	59,13
	0,31	
	0,24	
Média 6	0,28	
Média global de profundidade	0,29	
<b>Dureza (N/mm<sup>2</sup>)</b>		58,44
<b>Desvio padrão</b>		4,73

Fonte: Autora, 2021.

## APÊNDICE B – RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS CERÂMICOS

Os blocos cerâmicos foram caracterizados seguindo a normatização brasileira e, para caracterização da absorção de água ao longo do tempo, foi utilizada a metodologia da ASTM C 1794-19.

Tabela B.1 – Resultados individuais da caracterização dimensional e de resistência à compressão de seleção de 13 blocos do lote de acordo com a NBR 15270-2 (2017c)

Nº	L			C			H			Carga (kN)	Resistência (MPa) com área real	Resistência (MPa) com área nominal
	L1	L2	L médio	C1	C2	C médio	H1	H2	Hmédio			
1	87,29	88,13	87,71	188,67	189,70	189,19	185,84	187,20	186,52	46,21	2,78	2,70
2	87,60	87,46	87,53	189,41	188,95	189,18	183,47	184,21	183,84	29,82	1,80	1,74
3	87,12	85,38	86,25	183,84	186,12	184,98	182,29	182,15	182,22	37,57	2,35	2,20
4	87,31	86,74	87,03	187,18	184,59	185,89	185,01	184,32	184,67	43,51	2,69	2,54
5	87,23	87,54	87,39	188,84	189,11	188,98	184,44	186,65	185,55	32,79	1,99	1,92
6	87,76	86,83	87,30	188,86	189,03	188,95	184,75	184,30	184,53	22,83	1,38	1,34
7	86,32	87,00	86,66	186,62	186,99	186,81	183,27	185,04	184,16	50,15	3,10	2,93
8	86,80	87,25	87,03	188,75	189,57	189,16	184,38	183,86	184,12	25,65	1,56	1,50
9	88,62	87,32	87,97	188,56	189,35	188,96	186,12	184,76	185,44	44,48	2,68	2,60
10	87,97	87,11	87,54	187,91	187,98	187,95	185,76	185,00	185,38	51,96	3,16	3,04
11	86,13	86,44	86,29	187,85	188,88	188,37	186,39	186,46	186,43	41,76	2,57	2,44
12	86,93	86,45	86,69	188,62	189,20	188,91	187,36	185,44	186,40	29,58	1,81	1,73
13	87,26	86,72	86,99	187,37	187,18	187,28	186,17	184,71	185,44	34,31	2,11	2,01
<b>Média</b>			87,10			188,04			184,94		2,32	2,22
<b>Desvio padrão</b>			0,53			1,40			1,23		0,58	0,55

L - largura  
C – comprimento  
H – altura

Fonte: Autora, 2021.

Tabela B.2 – Resultados individuais da caracterização do IRA e da AA de todos os blocos cerâmicos utilizados de acordo com a NBR 15270-2 (2017c) (continua)

Nº	Face	C (mm)	H (mm)	ma (g)	Msat (g)	IRA (g/194 <sup>2</sup> )/min	AA (%)
14	1	186,29	183,40	14,94	2261,76	8,48	8,66
	2	188,03	185,63	13,55		7,53	
16	1	186,64	183,76	13,48	2177,58	7,62	8,15
	2	186,03	183,78	14,53		8,24	
17	1	187,34	184,53	13,09	2197,85	7,35	9,06
	2	182,00	184,40	13,65		7,89	
19	1	188,11	185,67	12,25	2281,46	6,80	9,16
	2	186,24	185,84	13,80		7,74	
23	1	185,08	184,58	17,83	2116,28	10,13	8,10

Tabela B.2 – Resultados individuais da caracterização do IRA e da AA de todos os blocos cerâmicos utilizados de acordo com a NBR 15270-2 (2017c) (continua)

Nº	Face	C (mm)	H (mm)	ma (g)	Msat (g)	IRA (g/194 <sup>2</sup> )/min	AA (%)
23	2	185,39	184,13	15,50	2116,28	8,81	8,10
25	1	185,14	184,34	13,59	2251,56	7,73	9,08
	2	186,30	185,50	12,44		6,98	
34	1	187,24	185,48	12,00	2165,31	6,70	9,88
	2	187,40	185,72	12,90		7,19	
36	1	186,22	185,51	13,02	2247,40	7,31	8,43
	2	184,66	184,00	13,75		7,85	
43	1	185,20	183,97	14,56	2250,63	8,29	8,12
	2	186,44	184,67	12,85		7,24	
47	1	186,88	184,26	13,33	2189,34	7,51	9,19
	2	186,36	184,31	13,84		7,82	
48	1	185,12	184,04	13,80	2253,57	7,86	8,00
	2	186,36	184,79	11,95		6,73	
56	1	185,61	186,12	14,00	2239,05	7,86	7,99
	2	184,55	185,18	14,89		8,45	
57	1	186,98	186,72	11,03	2298,04	6,13	8,50
	2	186,31	186,33	14,23		7,95	
59	1	188,95	184,76	11,43	2301,77	6,35	9,27
	2	186,24	185,22	13,03		7,33	
60	1	186,49	185,64	13,12	2243,66	7,35	8,76
	2	185,19	184,04	13,84		7,88	
63	1	185,96	184,36	12,42	2256,33	7,03	8,73
	2	187,04	185,93	12,16		6,78	
71	1	186,26	184,84	11,56	2248,61	6,51	8,98
	2	184,74	183,98	12,97		7,40	
73	1	188,84	185,99	11,49	2296,12	6,35	9,56
	2	186,74	184,21	12,59		7,10	
79	1	185,58	184,61	15,03	2255,76	8,51	8,61
	2	185,59	185,41	12,13		6,84	
81	1	186,87	184,63	14,41	2187,72	8,10	8,50
	2	187,20	184,40	13,81		7,76	
82	1	185,27	183,69	15,47	2256,42	8,82	8,22
	2	187,80	184,62	13,93		7,79	
83	1	185,05	184,89	14,25	2250,66	8,08	8,66
	2	186,17	185,61	13,81		7,75	
84	1	185,87	185,97	14,62	2258,10	8,21	8,77
	2	187,62	186,92	12,01		6,64	
87	1	185,29	184,22	12,92	2265,60	7,34	9,25
	2	185,85	185,93	11,79		6,62	
91	1	186,15	182,30	16,07	2292,81	9,19	9,05
	2	187,30	182,20	15,40		8,75	

Tabela B.2 – Resultados individuais da caracterização do IRA e da AA de todos os blocos cerâmicos utilizados de acordo com a NBR 15270-2 (2017c) (continua)

Nº	Face	C (mm)	H (mm)	ma (g)	Msat (g)	IRA (g/194 <sup>2</sup> )/min	AA (%)
97	1	188,45	187,10	13,03	2324,55	7,17	10,06
	2	185,60	183,70	13,62		7,75	
98	1	185,30	181,80	16,21	2297,59	9,34	9,05
	2	188,25	185,80	14,81		8,21	
99	1	188,15	187,00	17,42	2326,19	9,61	9,06
	2	186,15	184,10	17,71		10,03	
103	1	188,80	180,80	16,16	2298,43	9,18	9,03
	2	186,15	180,55	16,13		9,31	
109	1	186,00	183,90	16,99	2315,37	9,64	9,40
	2	189,00	184,55	16,13		8,97	
110	1	186,55	180,60	15,61	2264,12	8,99	9,31
	2	185,45	179,75	16,24		9,45	
111	1	188,35	181,30	16,78	2314,78	9,53	8,96
	2	186,40	182,00	15,12		8,65	
112	1	188,50	181,40	14,96	2321,36	8,49	8,97
	2	186,30	182,25	17,43		9,96	
117	1	188,60	183,40	13,46	2354,08	7,55	9,79
	2	187,15	184,05	13,81		7,78	
118	1	188,00	185,30	17,59	2303,68	9,80	8,16
	2	184,50	182,25	18,15		10,47	
119	1	188,30	182,20	15,18	2331,11	8,58	9,45
	2	186,45	183,90	15,47		8,75	
120	1	187,00	184,40	14,86	2340,61	8,36	9,26
	2	188,85	183,55	14,39		8,05	
124	1	185,80	184,90	14,64	2312,21	8,27	9,88
	2	188,90	186,67	14,82		8,15	
126	1	186,92	185,26	9,85	2336,32	5,52	9,69
	2	188,96	185,46	14,52		8,04	
127	1	186,36	180,90	17,81	2272,40	10,25	8,66
	2	188,45	181,65	17,67		10,01	
129	1	189,76	186,65	16,05	2320,19	8,79	9,88
	2	186,73	184,26	16,20		9,13	
133	1	189,39	183,36	14,48	2314,28	8,09	9,74
	2	188,38	181,76	14,62		8,28	
135	1	187,36	182,92	14,85	2309,00	8,41	9,84
	2	188,72	181,36	15,04		8,52	
140	1	189,54	185,26	13,74	2284,54	7,59	10,04
	2	192,37	189,05	13,38		7,14	
141	1	192,26	187,74	16,39	2296,79	8,81	9,73
	2	192,92	188,50	14,21		7,58	
143	1	189,26	188,85	12,43	2344,91	6,75	9,72

Tabela B.2 – Resultados individuais da caracterização do IRA e da AA de todos os blocos cerâmicos utilizados de acordo com a NBR 15270-2 (2017c) (conclusão)

Nº	Face	C (mm)	H (mm)	m <sub>a</sub> (g)	M <sub>sat</sub> (g)	IRA (g/194 <sup>2</sup> )/min	AA (%)
143	2	186,49	185,21	12,16		6,83	
145	1	187,58	184,44	18,12	2240,97	10,16	8,74
	2	186,74	181,83	18,24		10,42	
147	1	188,35	180,77	16,21	2291,05	9,24	8,53
	2	187,20	181,01	16,54		9,47	
148	1	185,30	182,60	17,40	2293,28	9,98	8,97
	2	188,63	185,99	15,79		8,73	
150	1	185,02	182,80	15,95	2267,60	9,15	8,10
	2	188,30	186,05	14,89		8,25	
152	1	189,70	187,60	15,00	2310,14	8,18	9,86
	2	186,91	185,37	15,22		8,52	
155	1	188,27	187,21	16,25	2306,67	8,94	8,93
	2	186,60	183,83	16,67		9,43	
157	1	189,38	187,76	15,47	2323,82	8,44	9,61
	2	185,42	184,45	14,18		8,04	
158	1	188,25	182,84	15,06	2308,80	8,49	9,80
	2	188,29	182,68	14,10		7,95	

C – comprimento

H – altura

m<sub>a</sub> – massa de água

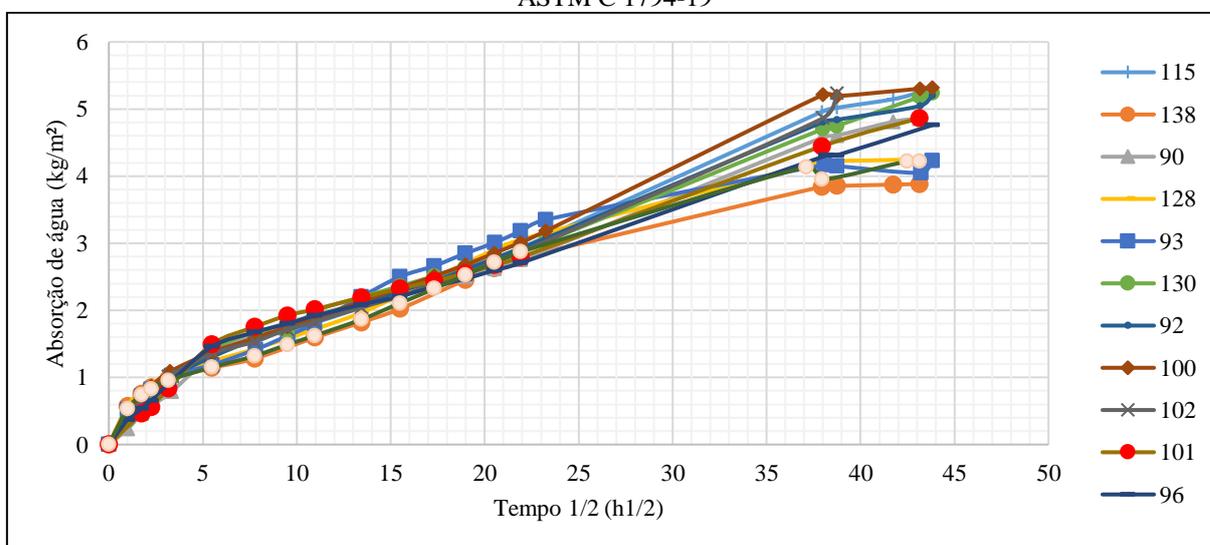
m<sub>sat</sub> – massa saturado

IRA – índice de absorção inicial

AA – absorção total

Fonte: Autora, 2021.

Figura B.1 – Caracterização da absorção de água ao longo do tempo de blocos cerâmicos de acordo com a ASTM C 1794-19



Fonte: Autora, 2021.

## APÊNDICE C – RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

Os blocos de concreto de vedação foram caracterizados seguindo a normatização brasileira para bloco de concreto e bloco cerâmico. Os dados de caracterização individual são apresentados nas tabelas seguintes.

Tabela C.1 – Resultados individuais da caracterização dimensional e de resistência à compressão de seleção de 8 blocos de concreto do lote de acordo com a NBR 12118 (2013a)

Nº	C1	C2	C3	C média	L1	L2	L3	L média	H1	H2	H3	H m	Força (kN)	Resistência (MPa)
1	390,70	389,40	389,80	389,97	138,70	139,50	141,30	139,83	189,20	190,40	189,80	189,80	313,35	5,75
2	390,40	390,80	389,90	390,37	138,70	139,80	139,20	139,23	189,50	190,00	188,80	189,43	395,52	7,28
3	391,80	392,10	391,30	391,73	139,60	140,00	139,80	139,80	190,30	192,80	192,90	192,00	179,76	3,28
4	391,00	390,10	390,20	390,43	138,80	138,80	139,00	138,87	192,20	193,20	194,80	193,40	157,58	2,91
5	391,60	391,80	391,40	391,60	139,20	139,00	139,70	139,30	194,70	194,20	193,30	194,07	166,69	3,06
6	392,00	391,60	391,90	391,83	139,80	139,80	139,40	139,67	189,50	194,60	195,00	193,03	155,08	2,83
46	391,00	391,20	391,20	391,13	139,40	138,90	138,70	139,00	195,40	196,20	195,30	195,63	220,62	4,06
30	390,30	390,30	389,20	389,93	138,30	138,30	139,00	138,53	191,50	192,80	191,50	191,93	211,45	3,91
<b>Média</b>				390,88				139,28				192,41		4,13
<b>Desvio padrão</b>				0,79				0,47				2,09		1,59

L - largura

C – comprimento

H – altura

Fonte: Autora, 2021.

Tabela C.2 – Resultados individuais da caracterização do IRA e da AA dos blocos de concreto de acordo com a NBR 15270-2 (2017c) (continua)

Nº	Face	C (mm)	H (mm)	msq (kg)	msamb (kg)	ma (kg)	Msat (kg)	IRA (g/194 <sup>2</sup> )/min	AA (%)
9	1	391,800	191,500	9,542	9,567	0,223	10,221	57,660	7,116
	2	390,500	190,600			0,110		28,672	
10	1	392,800	193,100	9,806	9,827	0,163	10,492	41,690	6,996
	2	392,300	195,200			0,111		28,121	
12	1	391,600	193,800	9,547	9,570	0,291	10,318	74,387	8,076
	2	391,000	194,000			0,241		61,637	
14	1	390,500	193,000	9,496	9,520	0,256	10,285	65,897	8,309
	2	391,300	193,500			0,286		73,279	
17	1	391,000	193,500	9,505	9,532	0,228	10,279	58,463	8,143
	2	391,700	193,800			0,264		67,468	
19	1	390,800	192,900	9,477	9,505	0,239	10,278	61,505	8,452
	2	391,000	193,600			0,294		75,347	
20	1	392,000	193,200	9,550	9,576	0,251	10,304	64,296	7,895
	2	393,200	192,200			0,199		51,084	

Tabela C.2 – Resultados individuais da caracterização do IRA e da AA dos blocos de concreto de acordo com a NBR 15270-2 (2017c) (conclusão)

Nº	Face	C (mm)	H (mm)	msq (kg)	msamb (kg)	ma (kg)	Msat (kg)	IRA (g/194 <sup>2</sup> )/min	AA (%)
21	1	392,000	194,700	9,490	9,516	0,252	10,281	64,055	8,335
	2	390,900	193,700			0,277		70,972	
27	1	391,900	194,400	9,665	9,687	0,213	10,422	54,239	7,832
	2	391,700	194,800			0,201		51,104	
29	1	390,800	194,400	9,507	9,529	0,274	10,309	69,968	8,436
	2	391,500	194,800			0,318		80,892	
35	1	389,600	190,200	9,520	9,540	0,241	10,218	63,094	7,332
	2	389,500	190,400			0,126		32,961	
36	1	391,700	195,700	9,693	9,715	0,303	10,477	76,683	8,088
	2	391,340	195,100			0,253		64,285	
40	1	391,200	194,900	9,691	9,713	0,169	10,424	43,001	7,564
	2	391,000	193,100			0,144		37,000	
42	1	391,800	197,100	9,521	9,542	0,335	10,392	84,158	9,148
	2	391,600	197,100			0,325		81,688	
44	1	392,500	195,600	9,736	9,758	0,228	10,539	57,614	8,248
	2	391,500	195,500			0,268		67,929	

Fonte: Autora, 2021.

C – comprimento

H – altura

ms<sub>amb</sub> – massa seca à temperatura ambiente

m<sub>a</sub> – massa de água

m<sub>sat</sub> – massa saturado

IRA – índice de absorção inicial

AA – absorção total

## APÊNDICE D – RESULTADOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS PLACAS DE CONCRETO

As placas de concreto foram caracterizadas quanto à absorção total (NBR 15270-2 (2017c)), IRA (NBR 15270-2 (2017c)), dimensões e resistência à compressão (NBR 5739 (2018)). Os resultados individuais da caracterização estão apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela D.1 – Resultados individuais da caracterização dimensional, de absorção total e índice de absorção inicial

Traço	Placa	Massa temp. ambiente (kg)	Massa seca pós estufa (kg)	Massa absorvida em lâmina de água - 60 s (kg)	Massa saturada (kg)	IRA (g/194 <sup>2</sup> )/min	A (%)	Cmédio (cm)	L média (cm)	E (cm)
1	X	16,61	16,40	0,16	18,16	9,64	10,73	67,75	47,23	2,45
	Y	16,77	16,60	0,15	18,19	8,61	9,58	69,40	49,34	2,50
	Z	15,85	15,64	0,18	17,47	10,68	11,67	67,00	49,05	2,70
	Média					9,65	11,20			
	Desvio padrão					1,04	0,67			
2	X	16,03	16,07	0,14	17,65	8,28	10,13	69,00	48,20	2,45
	Y	16,34	16,31	0,16	18,11	9,33	10,84	69,20	49,00	2,80
	Z	15,88	15,85	0,16	17,64	9,50	11,06	68,35	49,00	2,50
	Média					9,04	10,95			
	Desvio padrão					0,66	0,16			

C – comprimento; L – largura; E – espessura.

Fonte: Autora, 2021.

Tabela D.2 – Resultados individuais da resistência à compressão do concreto das placas

Traço 1		Traço 2	
Força (kN)	Resistência (MPa)	Força (kN)	Resistência (MPa)
15,66	7,976	32	16,297
10,06	5,124	33,68	17,153
17,12	8,719	37,17	18,931
18,44	9,391	30,9	15,737
17,88	9,106	35,08	17,866
18,72	9,534	32,79	16,700
14,85	7,563	<b>Média</b>	17,114
17,34	8,831	<b>Desvio Padrão</b>	1,049
13,77	7,013		
<b>Média</b>	8,140		
<b>Desvio padrão</b>	1,333		

Fonte: Autora, 2021.

## APÊNDICE E – CARACTERIZAÇÃO DOS TRAÇOS DE ESTUDO

Neste apêndice, serão apresentados os resultados individuais de caracterização das três pastas utilizadas para execução dos revestimentos (traços 1, 2 e 3).

Tabela E.1 – Resultados de calor acumulado, em função da massa de gesso, em diferentes idades de hidratação

Identificação	Calor acumulado total (J/g)							Calor acumulado total (J/g), após 5h de ensaio
	30 min	1 h	1 h 30 min	2h	2 h 30 min	3 h	4 h	
a/g = 0,48 - in loco	12,23	66,68	95,75	99,80	100,9	101,7	102,7	103,6
a/g = 0,6 - in loco	10,37	67,84	97,80	100,3	101,3	102,0	103,1	104,0
a/g = 0,8 - in loco	9,04	49,75	96,29	100,1	101,3	102,1	103,2	104,1
a/g = 1,0 - in loco	8,92	41,69	95,45	100,5	101,7	102,5	103,7	104,5
a/g = 0,48 - 1400 rpm	48,02	96,68	99,38	100,5	101,3	101,9	102,9	103,8
a/g = 0,6 - 1400 rpm	58,16	98,29	100,7	101,8	102,6	103,3	104,3	105,2
a/g = 0,8 - 1400 rpm	18,41	96,36	101,6	103,0	103,9	104,7	105,9	106,8
a/g = 1,0 - 1400 rpm	34,03	100,7	103,9	105,2	106,1	106,8	108,0	108,9

Fonte: Autora, 2021.

Tabela E.2 – Resultados individuais dos ensaios de tempo de pega das pastas de gesso (NBR 12128 (2019b))

	Tempo de pega (hora:minuto:segundo)					
	1		2		3	
	Início	Fim	Início	Fim	Início	Fim
Ensaio 1	00:21:25	00:30:33	00:25:06	00:35:00	00:36:35	01:12:00
Ensaio 2	00:20:30	00:28:40	00:22:36	00:35:30	00:38:54	01:19:00
Média	00:20:58	00:29:37	00:23:51	00:35:15	00:37:45	01:15:30
Desvio padrão	00:01:03	00:01:29	00:01:12	00:01:46	00:01:53	00:03:47

Fonte: Autora, 2021.

Tabela A.3 – Resultados individuais da caracterização da resistência à tração na flexão da pasta de gesso para revestimento seguindo metodologia da NBR 13279 (2005)

	Resistência à tração na flexão (MPa) por traço para cada corpo de prova					
	1		2		3	
	6,37		3,57		1,87	1,78
	7,47		3,53		1,80	2,05
	7,67		3,93		2,01	1,67
Média	7,57		3,68		1,89	
Desvio padrão	0,14		0,22		0,14	

Fonte: Autora, 2021.

Tabela E.4 – Resultados individuais da caracterização da dureza das pastas de gesso para revestimento seguindo metodologia da NBR 12129 (2019c)

Corpo de prova	Traço					
	1		2		3	
	Profundidade (mm)	Dureza do CP (N/mm <sup>2</sup> )	Profundidade	Dureza do CP (N/mm <sup>2</sup> )	Profundidade	Dureza do CP (N/mm <sup>2</sup> )
Corpo de prova 1	0,52	28,08	0,97	13,51	3,49	5,55
	0,62		1,32		2,24	
	0,65		1,43		3,33	
Média 1	0,60		1,24		3,02	
Corpo de prova 2	0,41	31,81	0,96	14,44	3,39	5,34
	0,58		1,25		2,38	
	0,59		1,27		3,64	
Média 2	0,53		1,16		3,14	
Corpo de prova 3	0,44	32,01	0,96	15,37	3,26	5,45
	0,54		1,24		2,20	
	0,59		1,07		3,76	
Média 3	0,52		1,09		3,07	
Corpo de prova 4	0,45	33,51	0,79	14,91	3,24	5,69
	0,52		1,25		2,26	
	0,53		1,33		3,34	
Média 4	0,50		1,12		2,95	
Corpo de prova 5	0,53	29,92	0,83	14,87	3,69	5,13
	0,59		1,23		2,32	
	0,56		1,32		3,78	
Média 5	0,56		1,13		3,26	
Corpo de prova 6	0,58	30,65	0,74	15,18	3,30	5,52
	0,52		1,30		2,21	
	0,54		1,27		3,59	
Média 6	0,55		1,10		3,03	
Média global	0,54	-	1,14	-	3,20	-
<b>Dureza (N/mm<sup>2</sup>)</b>		30,90		14,69		5,23
<b>Desvio padrão da dureza (N/mm<sup>2</sup>)</b>		1,89		0,67		0,19

Fonte: Autora, 2021.

Tabela A.5 – Resultados individuais da caracterização da resistência à compressão da pasta de gesso para revestimento seguindo metodologia da NBR 12127 (2017a)

<b>Traço</b>	<b>Resistência à compressão (MPa) por traço</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
CP1	10,51	4,96	2,62
CP2	10,65	4,77	2,32
CP3	11,84	5,66	2,90
CP4	11,00	6,41	3,07
CP5	9,90	5,79	2,15
CP6	7,85	5,76	2,49
Média	10,78	5,39	2,58
Desvio padrão	0,71	0,49	0,24

Fonte: Autora, 2021.

## APÊNDICE F – MAPA DOS BLOCOS NAS PAREDES

Neste apêndice, é apresentado o mapeamento das paredes, onde é possível verificar quais os blocos que compõem cada miniparede.

Quadro F.1 – Mapeamento dos blocos que compõem cada parede de estudo

Parede	Blocos que a compõem
BCE-U1,0-SCH-PGE0,6	59L1, 81L1, 83L1, 63L1, 84L2, 73L1
BCE-U0,5-SCH-PGE0,6	133L1, 127L1, 147L1, 135L1, 111L2, 117L2
BCE-SEC-SCH-PGE0,6	57L1, 14L2, 25L2, 36L1, 16L1, 71L1
BCE-U1,0-SCH-PGE0,8	19L2, 56L1, 48L1, 34L1, 47L2, 43L1
BCE-U0,5-SCH-PGE0,8	148L2, 126L2, 150L2, 103L2, 110L2, 158L1
BCE-SEC-SCH-PGE0,8	82L1, 79L2, 60L2, 17L2, 23L2, 87L2
BCE-U1,0-SCH-PGE1,0	143L1, 140L1, 99L2, 109L1, 157L1, 97L2
BCE-U0,5-SCH-PGE1,0	135L2, 111L1, 117L1, 133L2, 127L2, 147L2
BCE-SEC-SCH-PGE1,0	103L1, 110L1, 158L2, 148L1, 126L1, 150L1
BCE-SEC-CHC-PGE0,8	119L1, 98L1, 120L1, 155L1, 141L1, 152L2
BCE-SEC-CHG-PGE0,8	145L2, 129L1, 91L2, 124L2, 112L1, 118L2
Parede cerâmica para investigação da influência de aspectos da absorção na aderência	101L1, 90L1, 130L1, 115L2, 92L1, 100L2, 93L2, 128L1, 138L1
BCO-U0,5-SCH-PGE0,6	20L1, 36L2, 12L1
BCO-SEC-SCH-PGE0,6	17L1, 21L1, 9L1
BCO-U1,0-SCH-PGE0,8	10L2, 44L1, 35L1
BCO-U0,5-SCH-PGE0,8	14L2, 19L2, 29L2
BCO-SEC-SCH-PGE0,8	42L2, 40L2, 27L2
BCO-U1,0-SCH-PGE1,0	12L2, 36L1, 20L2
BCO-U0,5-SCH-PGE1,0	29L1, 19L1 14L1
BCO-SEC-SCH-PGE1,0	9L2, 21L2, 17L2
PC1-SEC-SCH-PGE0,8	Placa inteira
PC1-SEC-CHC-PGE0,8	
PC1-SEC-CHG-PGE0,8	
PC2-SEC-SCH-PGE0,8	
PC2-SEC-CHC-PGE0,8	
PC2-SEC-CHG-PGE0,8	

L1 – face 1 do bloco;

L2 – face 2 do bloco.

## APÊNDICE G – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA

Neste apêndice, serão apresentados os dados coletados requisitados pela NBR 13528-2 (2019f) para determinação da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento em pasta de gesso. As tabelas para cada parede estão apresentadas a seguir. Não há dados para o sistema PC2-SEC- SCH-PGE0,8, pois o revestimento se deslocou da base antes do ensaio.

Tabela G.01 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-U1,0-SCH-PGE0,6

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	93	912	x		53,40	53,59	53,50	2247,59	0,41		100%				
2	158	1550	x		53,47	53,59	53,53	2250,53	0,69		100%				
3	140	1373	x		53,64	53,85	53,75	2268,64	0,61		100%				
4	94	922	x		53,56	53,63	53,60	2256,00	0,41		100%				
5	70	687	x		53,37	53,63	53,50	2248,01	0,31		100%				
6	134	1315	x		53,61	53,52	53,57	2253,47	0,58		100%				
7	175	1717	x		53,62	53,58	53,60	2256,42	0,76		100%				
8	107	1050	x		53,64	53,62	53,63	2258,94	0,46		100%				
9	86	844	x		53,40	53,74	53,57	2253,89	0,37		100%				
10	121	1187	x		53,55	53,74	53,65	2260,21	0,53		100%				
11	96	942	x		53,50	53,51	53,51	2248,43	0,42		100%				
12	44	432	x		53,61	53,53	53,57	2253,89	0,19		100%				
Média	109,83	1077,47	-	-	53,53	53,63	53,58	2254,67	0,48	-	100%	0%	-	-	-
Desvio padrão		367,15					0,07	6,05	0,16						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.02 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-U0,5 –SCH-PGE0,6

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	162	1589	x		54,00	54,10	54,05	2294,46	0,69		100%				
2	130	1275	x		53,90	53,95	53,93	2283,86	0,56		70%	30%			
3	166	1628	x		53,55	53,70	53,63	2258,52	0,72		60%	40%			
4	150	1472	x		53,95	53,95	53,95	2285,98	0,64	7%	93%				
5	116	1138	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,50		100%				
6	163	1599	x		53,75	53,55	53,65	2260,63	0,71		100%				
7	104	1020	x		53,55	53,85	53,70	2264,84	0,45		100%				
8	95	932	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,41		100%				
9	165	1619	x		54,00	53,95	53,98	2288,10	0,71	5%	95%				
10	147	1442	x		53,80	53,80	53,80	2273,29	0,63		100%				
11	145	1422	x		53,90	53,90	53,90	2285,42	0,64	5%	95%				
12	138	1354	x		54,20	54,20	54,20	2311,48	0,59		100%				
Média	140,08	1374,22	-	-	53,88	53,91	53,86	2278,09	0,60	1%	93%	6%	-	-	-
Desvio padrão		238,26					0,24	20,41	0,11						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.03 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-U0,6 –SCH-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	136	1334	x		53,59	53,77	53,68	2263,16	0,59		100%				
2	134	1315	x		53,53	53,68	53,61	2256,84	0,58		100%				
3	137	1344	x		53,74	53,56	53,65	2260,63	0,59		100%				
4	132	1295	x		53,58	53,69	53,64	2259,37	0,57		100%				
5	150	1472	x		53,59	53,60	53,60	2256,00	0,65		100%				
6	92	903	x		53,60	53,67	53,64	2259,37	0,40		100%				
7	92	903	x		53,48	53,63	53,56	2252,63	0,40		100%				
8	130	1275	x		53,60	53,59	53,60	2256,00	0,57		100%				
9	154	1511	x		53,55	53,62	53,59	2255,15	0,67		100%				
10	117	1148	x		53,63	53,56	53,60	2256,00	0,51		100%				
11	140	1373	x		53,57	53,52	53,55	2251,79	0,61		100%				
Média	128,55	1261,03	-	-	49,12	49,16	49,14	2257,43	0,56	-	100%	0%	-	-	-
Desvio padrão		201,40					0,04	3,24	0,09		0,00				

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.04 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-U1,0 –SCH-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	68	667	x		53,68	53,56	53,62	2258,10	0,30		100%				
2	105	1030	x		53,74	53,60	53,67	2262,31	0,46		100%				
3	80	785	x		53,41	53,57	53,49	2247,17	0,35		100%				
4	54	530	x		53,64	53,59	53,62	2257,68	0,23		100%				
5	49	481	x		53,49	54,00	53,75	2268,64	0,21		100%				
6	32	314	x		53,88	53,85	53,87	2278,78	0,14		100%				
7	48	471	x		53,28	53,41	53,35	2235,00	0,21		100%				
8	133	1305	x		53,40	53,53	53,47	2245,07	0,58		100%				
9	80	785	x		54,11	53,53	53,82	2274,98	0,34		100%				
10	66	647	x		53,47	54,51	53,99	2289,37	0,28		100%				
11	69	677	x		53,30	53,59	53,45	2243,39	0,30		100%				
Média	71,27	699,19	-	-	49,12	49,23	49,17	2260,04	0,31	-	92%	0%	-	-	-
Desvio padrão		277,85					0,20	16,79	0,01						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.05 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-U0,5 –SCH-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	62	608	x		53,86	53,90	53,88	2280,05	0,27		75%	25%			
2	65	638	x		53,80	53,81	53,81	2273,71	0,28		100%				
3	30	294	x		53,84	53,64	53,74	2268,22	0,13		100%				
4	80	785	x		53,97	53,70	53,84	2276,25	0,34		95%	5%			
5	81	795	x		53,78	53,80	53,79	2272,44	0,35		100%				
6	83	814	x		54,21	54,05	54,13	2301,26	0,35		100%				
7	36	353	x		53,88	53,81	53,85	2277,09	0,16			100%			
8	102	1001	x		53,95	53,95	53,95	2285,98	0,44			100%			
9	77	755	x		53,81	53,95	53,88	2280,05	0,33		100%				
10	58	569	x		53,84	53,57	53,71	2265,27	0,25		75%	25%			
11	46	451	x		53,87	53,63	53,75	2269,06	0,20			50%	50%		
12	98	961	x		53,79	53,94	53,87	2278,78	0,42		100%				
Média	68,17	668,72	-	-	53,88	53,81	53,85	2277,35	0,39		70%	25%	4%	-	-
Desvio padrão		224,71					0,11	9,53	0,10						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.06 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-SEC- SCH-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	106	1040	x		53,40	53,52	53,46	2244,65	0,46		100%				
2	145	1422	x		53,34	53,40	53,37	2237,09	0,64		100%				
3	159	1560	x		54,22	54,52	54,37	2321,71	0,67		100%				
4	73	716	x		53,29	53,54	53,42	2240,87	0,32		70%	30%			
5	147	1442	x		53,68	53,58	53,63	2258,94	0,64		100%				
6	48	471	x		53,73	53,59	53,66	2261,47	0,21		95%	5%			
7	155	1521	x		53,76	53,74	53,75	2269,06	0,67		100%				
8	119	1167	x		53,66	54,05	53,86	2277,94	0,51		100%				
9	93	912	x		53,53	53,46	53,50	2247,59	0,41		100%				
10	158	1550	x		51,10	53,91	52,51	2165,17	0,72		45%	55%			
11	107	1050	x		53,16	53,21	53,19	2221,61	0,47		55%	45%			
12	69	677	x		53,44	53,66	53,55	2252,21	0,30		100%				
Média	114,92	1127,33	-	-	53,36	53,68	53,52	2249,86	0,50	-	89%	11%	-	-	-
Desvio padrão		377,90					0,44	36,67	0,17						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.07 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-U1,0 - SCH-PGE1,0

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	46	451	29		53,79	53,73	53,76	2269,91	0,20		95%	5%			
2	25	245	19		54,03	53,61	53,82	2274,98	0,11		100%				
3	54	530	14		53,66	53,98	53,82	2274,98	0,23		95%	5%			
4	97	952	29		53,84	53,86	53,85	2277,52	0,42		95%	5%			
5	101	991	19		54,15	53,91	54,03	2292,77	0,43		97%	3%			
6	79	775	14		53,70	53,86	53,78	2271,60	0,34		100%				
7	24	235	29		53,71	54,01	53,86	2278,36	0,10		100%				
8	84	824	19		53,79	53,81	53,80	2273,29	0,36		97%	3%			
9	49	481	14		54,02	53,91	53,97	2287,25	0,21		100%				
10	65	638	29		53,77	53,95	53,86	2278,36	0,28		96%	4%			
11	88	863	19		53,83	53,58	53,71	2265,27	0,38		90%	10%			
12	62	608	14		53,74	53,83	53,79	2272,02	0,27		8%	92%			
Média	64,50	632,75	-	-	53,84	53,84	53,84	2276,36	0,28	0%	89%	11%	-	-	-
Desvio padrão		254,97					0,09	7,49	0,11						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.08 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-U0,5 - SCH-PGE1,0

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	83	814	x		53,80	54,09	53,95	2285,56	0,36		100%				
2	86	844	x		53,80	54,04	53,92	2283,44	0,37		100%				
3	59	579	x		53,99	53,72	53,86	2277,94	0,25		100%				
4	77	755	x		54,04	53,71	53,88	2279,63	0,33		100%				
5	88	863	x		53,94	54,22	54,08	2297,01	0,38		100%				
6	83	814	x		53,80	53,77	53,79	2272,02	0,36		100%				
7	72	706	x		53,90	53,93	53,92	2283,02	0,31		100%				
8	78	764	x		54,24	54,04	54,14	2302,11	0,33		95%	5%			
9	54	530	x		54,06	54,16	54,11	2299,56	0,23		95%	5%			
10	109	1069	x		54,09	53,91	54,00	2290,22	0,47		100%				
11	78	765	x		53,23	53,81	53,52	2249,69	0,34		100%				
12	68	667	x		53,91	53,41	53,66	2261,47	0,29		100%				
Média	77,91	764,29	-	-	53,90	53,90	53,90	2281,81	0,33	0%	99%	1%	-	-	-
Desvio padrão		140,27					0,18	15,40	0,06						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.09 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-SEC- SCH-PGE1,0

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	98	961	x		53,55	53,80	53,68	2262,74	0,42		100%				
2	71	697	x		53,20	53,30	53,25	2227,05	0,31			40%	60%		
3	88	863	x		53,80	53,85	53,83	2275,40	0,38		100%				
4	90	883	x		53,60	53,80	53,70	2264,84	0,39		100%				
5	163	1599	x		53,75	53,80	53,78	2271,18	0,70		100%				
6	135	1324	x		53,70	53,80	53,75	2269,06	0,58		100%				
7	67	657	x		53,90	53,90	53,90	2281,75	0,29		55%	45%			
8	129	1265	x		54,00	53,95	53,98	2288,10	0,55		100%				
9	135	1324	x		53,90	54,05	53,98	2288,10	0,58		100%				
10	134	1315	x		53,85	54,00	53,93	2283,86	0,58		65%	35%			
11	117	1148	x		54,05	53,85	53,95	2285,98	0,50		100%				
12	83	814	x		53,85	53,85	53,85	2277,52	0,36		100%				
Média	109,17	1070,93	-	-	53,76	53,83	53,80	2272,96	0,47		85%	10%	5%	-	-
Desvio padrão		298,19					0,20	16,92	0,13						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.10 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-SEC- CHC-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)							
			Bloco	Junta						Sub	Sub/chap	Chap	Chap/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	99	971	x		54,00	53,75	53,88	2279,63	0,43		92%	8%					
2	96	942	x		53,75	54,20	53,98	2288,10	<b>0,41</b>		89%	7%	2%	2%			
3	134	1315	x		53,80	53,80	53,80	2273,29	0,58		90%	2%	8%				
4	141	1383	x		53,90	53,10	53,50	2248,01	0,62		90%		10%				
5	89	873	x		53,95	53,90	53,93	2283,86	0,38		90%		10%				
6	112	1099	x		53,65	54,00	53,83	2275,40	<b>0,48</b>		95%	5%					
7	135	1324	x		54,00	53,80	53,90	2281,75	<b>0,58</b>	2%	94%		4%				
8	69	677	x		54,15	53,65	53,90	2281,75	<b>0,30</b>		96%	4%					
9	133	1305	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	<b>0,57</b>		97%	3%					
10	101	991	x		53,90	54,20	54,05	2294,46	<b>0,43</b>		96%	4%					
11	95	932	x		53,85	53,75	53,80	2273,29	<b>0,41</b>		86%	7%	7%				
12	76	746	x		54,10	53,70	53,90	2281,75	<b>0,33</b>		97%	3%					
Média	106,67	1046,40	-	-	53,92	53,82	53,87	2279,29	0,46	0%	93%	4%	3%	0%	-	-	-
Desvio padrão		237,78					0,14	11,80	0,11								

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.11 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCE-SEC- CHG-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)							
			Bloco	Junta						Sub	Sub/chap	Chap	chp/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	147	1442	x		54,00	53,80	53,90	2281,75	0,63				100%				
2	194	1903	x		53,60	53,75	53,68	2262,74	0,84				70%	30%			
3	119	1167	x		54,10	54,10	54,10	2298,71	0,51				100%				
4	190	1864	x		54,10	53,90	54,00	2290,22	0,81				80%	20%			
5	148	1452	x		53,70	54,00	53,85	2277,52	0,64				85%	15%			
6	93	912	x		54,05	52,60	53,33	2233,32	0,41					100%			
7	186	1825	x		53,75	54,00	53,88	2279,63	0,80				88%	12%			
8	99	971	x		53,85	54,15	54,00	2290,22	0,42				93%	7%			
9	165	1619	x		53,85	54,00	53,93	2283,86	0,71		4%		89%	7%			
10	146	1432	x		54,00	54,05	54,03	2292,34	0,62				90%	10%			
11	174	1707	x		53,75	54,00	53,88	2279,63	0,75				92%	8%			
12	163	1599	x		54,00	53,85	53,93	2283,86	0,70				92%	8%			
Média	152,00	1491,12	-	-	53,90	53,85	53,87	2279,48	0,65	0%			82%	18%	-	-	-
Desvio padrão		331,94					0,20	17,12	0,15								

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.12 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCO-U1,0- SCH-PGE0,6

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)						
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha	
1	112	1099	x		53,53	53,53	53,53	2250,53	0,49	20%	80%					
2	154	1511	x		53,58	53,58	53,58	2254,73	0,67		100%					
3	105	1030	x		53,78	53,49	53,64	2259,37	0,46		100%					
4	140	1373	x		53,48	53,43	53,46	2244,23	0,61		100%					
5	164	1609	x		53,48	53,47	53,48	2245,91	0,72		100%					
6	162	1589	x		53,50	53,59	53,55	2251,79	>0,71	100%						
7	153	1501	x		53,43	53,65	53,54	2251,37	0,67	70%	30%					
8	117	1148	x		53,40	53,54	53,47	2245,49	>0,51	100%						
9	143	1403	x		53,49	53,48	53,49	2246,75	0,62		100%					
10	216	2119	x		53,58	53,68	53,63	2258,94	0,94		100%					
11	123	1207	x		53,36	53,70	53,53	2250,53	0,54		100%					
12	150	1472	x		53,38	53,54	53,46	2244,65	0,66		100%					
Média		144,92	-	-	53,50	53,56	53,53	2250,36	0,63	24%	76%	0%	-	-	-	-
Desvio padrão		466,86					0,06	5,26	0,13							

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.13 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCO-U0,5 –SCH-PGE0,6

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	105	1030	20'		53,55	53,85	53,70	2264,84	0,45	10%	90%				
2	96	942	20'		54,00	53,90	53,95	2285,98	0,41	90%	10%				
3	112	1099	20'		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,48	5%	95%				
4	109	1069	20'		54,05	54,00	54,03	2292,34	0,47	40%	60%				
5	147	1442	36"		53,90	53,95	53,93	2283,86	>0,63	100%					
6	192	1884	36"		53,90	54,00	53,95	2285,98	0,82	30%	70%				
7	169	1658	36"		53,93	54,34	54,14	2301,69	0,72	90%	10%				
8	161	1579	36"		53,95	58,00	55,98	2460,81	0,64	85%	15%				
9	82	804	12'		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,35	96%	4%				
10	130	1275	12'		54,05	54,00	54,03	2292,34	0,56	97%	3%				
11	133	1305	12'		53,85	53,95	53,90	2281,75	0,57	98%	2%				
12	112	1099	12'		54,00	54,05	54,03	2292,34	0,48	97%	3%				
Média	129,00	1265,49	-	-	53,93	54,34	59,06	2301,87	0,50	70%	30%	0%	-	-	-
Desvio padrão		321,11					0,59	50,82	0,14						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.14 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCO-SEC- SCH-PGE0,6

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	123	1207	x		53,68	53,60	53,64	2259,79	>0,53	100%					
2	135	1324	x		53,85	53,61	53,73	2267,38	>0,58	100%					
3	133	1305	x		53,57	53,55	53,56	2253,05	0,58		100%				
4	113	1109	x		53,58	53,61	53,60	2256,00	>0,49	100%					
5	123	1207	x		53,49	53,66	53,58	2254,31	>0,54	100%					
6	96	942	x				0,00	0,00							100%
7	179	1756	x		53,56	53,74	53,65	2260,63	>0,78	100%					
8	166	1628	x		53,46	53,54	53,50	2248,01	>0,72	100%					
9	94	922	x		53,37	53,88	53,63	2258,52	>0,41	100%					
10	131	1285	x		53,49	53,42	53,46	2244,23	0,57		100%				
11	110	1079	x		53,58	53,38	53,48	2246,33	0,48		100%				
12	118	1158	x		53,61	53,76	53,69	2263,58	>0,51	100%					
Média	127,09	1246,76	-	-	44,63	44,68	44,65	2050,18	0,56	67%	25%	0%	-	-	8%
Desvio padrão		259,05					16,16	680,01	0,11						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.15 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCO-U1,0- SCH-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	60	589	x		53,71	53,26	53,49	2246,75	0,26		100%				
2	72	706	x		53,62	53,60	53,61	2257,26	0,31		100%				
3	75	736	x		54,01	53,61	53,81	2274,13	0,32		100%				
4	107	1050	x		53,64	53,56	53,60	2256,42	>0,47			100%			
5	127	1246	x		53,55	53,55	53,55	2252,21	0,55		100%				
6	154	1511	x		53,61	53,58	53,60	2256,00	0,67		100%				
7	119	1167	x		53,90	53,71	53,81	2273,71	0,51		100%				
8	96	942	x		53,25	53,92	53,59	2255,15	>0,42	100%					
9	141	1383	x		53,67	53,51	53,59	2255,58	0,61		100%				
10	95	932	x		53,63	53,25	53,44	2242,97	0,42		100%				
11	173	1697	x		53,52	53,66	53,59	2255,58	0,75		100%				
12	139	1364	x		53,51	53,55	53,53	2250,53	0,61		100%				
Média	113,17	1110,17	-	-	53,64	53,56	53,60	2256,36	0,49	8%	83%	8%	-	-	-
Desvio padrão		344,38					0,11	9,26	0,15						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.16 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCO-U0,5 –SCH-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	164	1609	14"		53,90	53,80	53,85	2277,52	0,71		100%				
2	117	1148	14"		52,60	51,80	52,20	2140,08	>0,54			90%	10%		
3	126	1236	14"		53,90	54,00	53,95	2285,98	0,54		100%				
4	118	1158	14"		53,85	53,80	53,83	2275,40	0,51	95%	5%				
5	126	1236	19"		53,90	54,00	53,95	2285,98	0,54	80%	20%				
6	142	1393	19"		53,05	53,90	53,48	2245,91	0,62	30%	70%				
7	140	1373	19"		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,60	90%	10%				
8	121	1187	19"		53,90	53,90	53,90	2281,75	0,52	90%	10%				
9	131	1285	29"		53,90	54,15	54,03	2292,34	0,56	5%	92%	3%			
10	131	1285	29"		53,80	53,90	53,85	2277,52	0,56	50%	50%				
11	149	1462	29"		53,90	53,85	53,88	2279,63	0,64	97%	3%				
12	112	1099	29"		53,90	54,00	53,95	2285,98	0,48		100%				
Média	131,42	1289,20	-	-	53,72	53,76	53,74	2268,19	0,57	45%	47%	8%	1%	-	-
Desvio padrão		147,56					0,50	42,07	0,06						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.17 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCO-SEC- SCH-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	72	706	x		54,05	53,64	53,85	2277,09	0,31				100%		
2	121	1187	x		56,62	53,65	55,14	2387,51	>0,50	100%					
3	117	1148	x		53,65	53,88	53,77	2270,33	0,51		100%				
4	77	755	x		53,79	53,56	53,68	2262,74	>0,33	100%					
5	70	687	x		53,57	53,70	53,64	2259,37	0,30		100%				
6	127	1246	x		53,81	53,55	53,68	2263,16	0,55		100%				
7	103	1010	x		54,07	53,64	53,86	2277,94	0,44		100%				
8	93	912	x		53,84	53,57	53,71	2265,27	0,40		100%				
9	125	1226	x		53,40	53,91	53,66	2261,05	0,54		100%				
10	115	1128	x		53,54	53,58	53,56	2253,05	0,50		100%				
11	87	853	x		53,52	53,41	53,47	2245,07	0,38		100%				
12	97	952	x		54,69	53,56	54,13	2300,84	0,41		100%				
Média	100,33	984,27	-	-	54,05	53,64	53,84	2276,95	0,44	17%	75%	0%	8%	-	-
Desvio padrão		204,00					0,44	37,56	0,08						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.18 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCO-U1,0 - SCH-PGE1,0

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	113	1109	12"	12"	53,78	53,84	53,81	2274,13	0,49	95%	5%				
2	91	893	12"	12"	53,74	53,81	53,78	2271,18	0,39		100%				
3	146	1432	12"	12"	53,83	53,66	53,75	2268,64	0,63		100%				
4	119	1167	12"	12"	53,73	53,71	53,72	2266,53	0,52			70%	30%		
5	76	746	12"	12"	53,58	53,85	53,72	2266,11	0,33		70%	30%			
6	97	952	36'	36'	53,60	53,96	53,78	2271,60	>0,42	100%					
7	63	618	36'	36'	53,28	53,74	53,51	2248,85	0,27			15%	85%		
8	77	755	36'	36'	53,56	52,63	53,10	2214,10	0,34			12%	88%		
9	134	1315	36'	36'	53,90	53,87	53,89	2280,48	0,58		100%				
10	33	324	20"	20"	53,99	53,86	53,93	2283,86	0,14		40%	60%			
11	143	1403	20"	20"	53,77	53,75	53,76	2269,91	0,62		100%				
12	155	1521	20"	20"	54,05	53,84	53,95	2285,56	0,67		100%				
Média	103,92	1019,42	-	-	53,73	53,71	53,72	2266,75	0,45	16%	51%	16%	17%	-	-
Desvio padrão		368,78					0,23	19,16	0,16						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.19 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCO-U0,5-SCH-PGE1,0

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	97	952	29		53,65	53,75	53,70	2264,84	0,42	88%	12%				
2	119	1167	19		53,87	54,00	53,94	2284,71	0,51	87%	13%				
3	109	1069	14		54,07	53,67	53,87	2279,21	0,47		100%				
4	134	1315	29		53,99	54,06	54,03	2292,34	0,57		100%				
5	148	1452	19		54,20	53,93	54,07	2295,74	0,63		100%				
6	115	1128	14		53,77	54,08	53,93	2283,86	0,49		100%				
7	106	1040	29		54,03	53,84	53,94	2284,71	0,46		100%				
8	125	1226	19		54,19	54,07	54,13	2301,26	>0,53	100%					
9	143	1403	14		53,88	53,99	53,94	2284,71	0,61	93%	7%				
10	91	893	29		53,63	53,94	53,79	2272,02	0,39	95%	5%				
11	76	746	19		54,15	53,90	54,03	2292,34	0,33		100%				
12	83	814	14		54,05	54,00	54,03	2292,34	0,36		100%				
Média	112,17	1100,36	-	-	53,96	53,94	53,95	2285,67	0,48	39%	61%	0%	-	-	-
Desvio padrão		225,57					0,12	10,21	0,10						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.20 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema BCO-SEC- SCH-PGE1,0

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	98	961	29		53,49	53,86	53,68	2262,74	>0,42			100%			
2	110	1079	19		53,91	53,95	53,93	2284,29	0,47		100%				
3	102	1001	14		53,98	53,75	53,87	2278,78	>0,44	100%					
4	87	853	29		53,82	53,64	53,73	2267,38	0,38		100%				
5	108	1059	19		53,81	53,99	53,90	2281,75	0,46	25%	75%				
6	109	1069	14		53,87	53,84	53,86	2277,94	0,47	60%	40%				
7	97	952	29		53,70	54,05	53,88	2279,63	0,42		100%				
8	108	1059	19		53,88	53,88	53,88	2280,05	0,46			95%	5%		
9	116	1138	14		54,01	53,88	53,95	2285,56	>0,50	100%					
10	125	1226	29		53,96	53,61	53,79	2272,02	0,54		100%				
11	75	736	19		53,76	53,89	53,83	2275,40	>0,32				100%		
12	87	853	14		53,83	53,85	53,84	2276,67	0,37	10%	90%				
Média	101,83	998,99	-	-	53,84	53,85	53,84	2276,85	0,44	25%	50%	16%	9%	-	-
Desvio padrão		136,50					0,08	6,69	0,06						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.21 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema PC1-SEC- SCH-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)					
			Bloco	Junta						Sub	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	137	1344	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,59						
2	0	0	x		53,85	54,00	53,93	2283,86	0,00		100%				
3	54	530	x		54,10	53,70	53,90	2281,75	0,23		100%				
4	54	530	x		53,90	54,00	53,95	2285,98	0,23		100%				
5	83	814	x		53,70	53,85	53,78	2271,18	0,36		100%				
6	76	746	x		53,80	53,85	53,83	2275,40	0,33		100%				
7	143	1403	x		54,15	53,90	54,03	2292,34	0,61		100%				
8	38	373	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,16		100%				
9	0	0	x		53,90	54,00	53,95	2285,98	0,00		100%				
10	14	137	x		53,45	54,10	53,78	2271,18	0,06		100%				
11	94	922	x		54,15	53,95	54,05	2294,46	0,40		100%				
12	73	716	x		54,00	53,65	53,83	2275,40	0,31		100%				
Média	63,83	626,21	-	-	53,92	53,92	53,92	2283,16	0,27	0%	100%	0%	-	-	-
Desvio padrão		464,14					0,10	8,19	0,20						

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.22 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema PC1-SEC- CHC-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)								
			Bloco	Junta						Sub	Sub/chap	Chap	Chap/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha	
1	129	1265	x		52,55	53,00	52,78	2187,49	>0,58					12%	88%			
2	199	1952	x		53,75	54,00	53,88	2279,63	0,86		90%		8%	2%				
3	215	2109	x		53,95	54,00	53,98	2288,10	0,92			5%	95%					
4	45	441	x		53,00	51,35	52,18	2138,03	>0,21					4%	96%			
5	158	1550	x		52,85	52,50	52,68	2179,21	>0,71					96%	4%			
6	190	1864	x		53,85	53,85	53,85	2277,52	0,82		60%		4%	36%				
7	211	2070	x		54,10	53,85	53,98	2288,10	0,90		87%		6%	7%				
8	142	1393	x		52,20	52,70	52,45	2160,63	0,64					30%	70%			
9	150	1472	x		53,95	54,10	54,03	2292,34	0,64		88%		12%					
10	190	1864	x		54,00	53,80	53,90	2281,75	0,82		88%		12%					
11	158	1550	x		54,00	53,80	53,90	2281,75	0,68				100%					
12	186	1825	x		54,00	54,05	54,03	2292,34	0,80				100%					
Média	164,42	1612,93	-	-	53,52	53,42	53,47	2245,57	0,71		34%		4%	28%	12%	22%	-	-
Desvio padrão		458,29						0,72	59,81		0,19							

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.23 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema PC1-SEC- CHG-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)								
			Bloco	Junta						Sub	Sub/chap	Chap	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha	
1	119	1167	x		53,80	54,10	53,95	2285,98	0,51		75%		25%					
2	68	667	x		53,85	53,85	53,85	2277,52	0,29		98%		2%					
3	75	736	x		53,60	53,30	53,45	2243,81	>0,33					55%	45%			
4	21	206	x		53,80	54,05	53,93	2283,86	0,09		70%	30%						
5	234	2296	x		54,15	53,80	53,98	2288,10	1,00		20%	80%						
6	266	2609	x		53,75	53,90	53,83	2275,40	1,15		55%	45%						
7	123	1207	x		54,15	53,55	53,85	2277,52	0,53		93%		7%					
8	90	883	x		53,85	54,00	53,93	2283,86	>0,39			100%						
9	176	1727	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,75		85%		15%					
10	121	1187	x		54,00	53,65	53,83	2275,40	0,52		90%		10%					
11	207	2031	x		53,90	53,75	53,83	2275,40	0,89		50%		50%					
12	5	49	x		54,05	53,85	53,95	2285,98	>0,02			100%						
Média	125,42	1230,34	-	-	53,91	53,82	53,86	2278,59	0,48		0%	53%	30%	9%	5%	-	-	-
Desvio padrão		800,97						0,14	12,19		0,34							

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.24 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema PC2-SEC- CHC-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)								
			Bloco	Junta						Sub	Sub/chap	Chap	chap/pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha	
1	183	1795	x		53,90	54,00	53,95	2285,98	0,79		60%		40%					
2	185	1815	x		53,95	53,95	53,95	2285,98	0,79				100%					
3	130	1275	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,56				100%					
4	85	834	x		54,15	53,90	54,03	2292,34	0,36		100%							
5	203	1991	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,87			4%	88%	8%				
6	156	1530	x		53,85	54,10	53,98	2288,10	0,67				100%					
7	155	1521	x		53,95	53,90	53,93	2283,86	0,67			4%	94%	2%				
8	98	961	x		54,05	54,05	54,05	2294,46	0,42			4%	96%					
9	163	1599	x		54,00	54,05	54,03	2292,34	0,70		85%		15%					
10	128	1256	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,55			4%	96%					
11	106	1040	x		54,10	54,10	54,10	2298,71	0,45			4%	96%					
12	87	853	x		54,00	53,90	53,95	2285,98	0,37				3%	97%				
Média	139,92	1372,58	-	-	54,00	54,00	54,00	2289,87	0,60		0%	20%	2%	77%	1%	-	-	-
Desvio padrão		395,19						0,05	4,23		0,17							

Fonte: Autora, 2021.

Tabela G.25 – Dados do ensaio de resistência de aderência à tração para o sistema PC2-SEC- CHG-PGE0,8

Nº do CP	Carga de ruptura (kg)	Carga de ruptura (N)	Local do ensaio		Diâmetro 1 (mm)	Diâmetro 2 (mm)	Diâmetro médio (mm)	Seção (mm²)	Resistência (MPa)	Forma de ruptura (%)							
			Bloco	Junta						Sub	Sub/chap	Chap	Sub/Pasta	Pasta	Pasta/Cola	Cola	Cola/Pastilha
1	287	2815	x		53,45	53,45	53,45	2243,81	>1,25					85%	15%		
2	168	1648	x		53,90	54,05	53,98	2288,10	0,72		90%		10%				
3	129	1265	x		53,80	54,10	53,95	2285,98	0,55		30%		70%				
4	0	0	x		53,85	54,00	53,93	2283,86	>0			100%					
5	165	1619	x		53,05	54,35	53,70	2264,84	>0,71					40%	60%		
6	165	1619	x		54,50	53,70	54,10	2298,71	0,70		90%		10%				
7	49	481	x		53,90	54,00	53,95	2285,98	0,21		100%						
8	108	1059	x		53,80	53,80	53,80	2273,29	>0,47					38%	62%		
9	24	235	x		53,90	53,90	53,90	2281,75	>0,10			100%					
10	104	1020	x		54,00	53,95	53,98	2288,10	0,45		100%						
11	104	1020	x		54,00	54,00	54,00	2290,22	0,45		97%	3%					
12	68	667	x		52,00	53,00	52,50	2164,75	>0,31					10%	90%		
Média	114,25	1120,79	-	-	53,68	53,86	53,77	2270,78	0,49	0%	42%	17%	8%	14%	19%	-	-
Desvio padrão		759,56					0,43	36,33	0,34								

Fonte: Autora, 2021

## APÊNDICE H – ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA

Neste apêndice, serão apresentados os resultados das análises estatísticas utilizadas na discussão da tese para verificação das diferenças estatisticamente significativas para um intervalo de confiança de 95%. Foram realizadas análises por meio do teste de T Student e análise de variância ANOVA utilizando o Microsoft Excel. Em cada tópico, são descritos os fatores considerados em cada análise.

Para efeito de entendimento das análises estatísticas, seguem as abreviaturas utilizadas: SQ – soma dos quadrados, gl – grau de liberdade, MQ – média quadrática, F – parâmetro para teste de significância, valor-P – probabilidade de se observar um valor de teste maior ou igual ao encontrado.

### H.1 Análise da influência da base (verificação de diferenças estatisticamente significativas)

- Traço 1 com bases secas

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,00103112	1	0,001031123	0,03810092	0,847032117	4,300949502
Dentro dos grupos	0,59538501	22	0,027062955			
Total	0,59641614	23				

- Traço 2 seco (considerando os três tipos de base)

#### ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,79902859	3	0,5996762	30,9813397	7,94866E-11	2,82162822
Dentro dos grupos	0,83230992	43	0,01935604			
Total	2,63133851	46				

- Traço 2 seco (considerando somente as bases cerâmicas e os blocos de concreto)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,019380093	1	0,019380093	1,069498203	0,312822082	4,324793743
Dentro dos grupos	0,380535425	21	0,018120735			
Total	0,399915518	22				

- Traço 3 com base seca

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,00618247	1	0,00618247	0,605085394	0,44492974	4,300949502
Dentro dos grupos	0,22478544	22	0,01021752			
Total	0,23096791	23				

- Parede com blocos cerâmicos com 3 faixas de absorção (B – baixa, I – intermediária, A – alta) executadas com traço 2 ( $a/g = 0,8$ )

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,049063	2	0,024532	1,265602	0,310525	3,68232
Dentro dos grupos	0,29075	15	0,019383			
Total	0,339813	17				

## H.2 Análise por ANOVA da influência do pré-umedecimento da base (verificação de diferenças estatisticamente significativas)

- Base cerâmica com traço 1 (comparação entre os três teores de umidade considerados)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,095749122	2	0,047874561	2,612824109	0,088435134	3,284917651
Dentro dos grupos	0,604656284	33	0,018322918			
Total	0,700405406	35				

- Base cerâmica com traço 1 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 0,5%)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,032722827	1	0,032722827	2,289395626	0,144494766	4,300949502
Dentro dos grupos	0,314450757	22	0,014293216			
Total	0,347173584	23				

- Base cerâmica com traço 1 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 1,0%)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,016121064	1	0,016121064	0,735983604	0,40020053	4,300949502
Dentro dos grupos	0,481890362	22	0,021904107			
Total	0,498011425	23				

- Base cerâmica com traço 2 (comparação entre os três teores de umidade considerados)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,373044011	2	0,186522006	11,09980691	0,000205843	3,284917651
Dentro dos grupos	0,554534528	33	0,016804077			
Total	0,927578539	35				

- Base cerâmica com traço 2 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 0,5%)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,259015405	1	0,259015405	13,66594214	0,00125995	4,300949502
Dentro dos grupos	0,416973734	22	0,018953352			
Total	0,675989139	23				

- Base cerâmica com traço 2 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 1,0%)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,299108683	1	0,299108683	14,66220294	0,000914114	4,300949502
Dentro dos grupos	0,448799614	22	0,020399982			
Total	0,747908297	23				

- Base cerâmica com traço 3 (comparação entre os três teores de umidade considerados)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,235638781	2	0,11781939	10,67040757	0,000266624	3,284917651
Dentro dos grupos	0,364375949	33	0,011041695			
Total	0,60001473	35				

- Base cerâmica com traço 3 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 0,5%)

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,110780548	1	0,110780548	10,74519049	0,00343682	4,300949502
Dentro dos grupos	0,226815155	22	0,01030978			
Total	0,337595703	23				

- Base cerâmica com traço 3 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 1,0%)

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,223191144	1	0,223191144	15,18660324	0,000775089	4,300949502
Dentro dos grupos	0,323324781	22	0,014696581			
Total	0,546515926	23				

- Base de bloco de concreto com traço 1 (comparação entre os três teores de umidade considerados)

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,08463209	2	0,042316044	1,7605119	0,187724708	3,284917651
Dentro dos grupos	0,79319513	33	0,024036216			
Total	0,87782722	35				

- Base de bloco de concreto com traço 1 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 0,5%)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,006386369	1	0,006386369	0,231144751	0,635422985	4,300949502
Dentro dos grupos	0,607844737	22	0,027629306			
Total	0,614231107	23				

- Base de bloco de concreto com traço 1 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 1,0%)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,079640106	1	0,079640106	2,974417496	0,098614381	4,300949502
Dentro dos grupos	0,58905057	22	0,026775026			
Total	0,668690676	23				

- Base de bloco de concreto com traço 2 (comparação entre os três teores de umidade considerados)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,09209362	2	0,046046812	3,979704043	0,028608488	3,294536816
Dentro dos grupos	0,37025316	32	0,011570411			
Total	0,46234678	34				

- Base de bloco de concreto com traço 2 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 0,5%)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,089976994	1	0,089976994	16,64318799	0,000537147	4,324793743
Dentro dos grupos	0,113530946	21	0,005406236			
Total	0,203507941	22				

- Base de bloco de concreto com traço 2 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 1,0%)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,013748279	1	0,013748279	0,88557421	0,357379544	4,324793743
Dentro dos grupos	0,326018818	21	0,015524706			
Total	0,339767097	22				

- Base de bloco de concreto com traço 3 (comparação entre os três teores de umidade considerados)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,01178534	2	0,005892669	0,452464274	0,639945892	3,284917651
Dentro dos grupos	0,42977556	33	0,013023502			
Total	0,4415609	35				

- Base de bloco de concreto com traço 3 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 0,5%)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,010879448	1	0,010879448	1,658661412	0,211166809	4,300949502
Dentro dos grupos	0,144301818	22	0,006559174			
Total	0,155181266	23				

- Base de bloco de concreto com traço 3 (comparação entre base seca e com pré-umedecimento de 1,0%)

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,000680513	1	0,000680513	0,046137181	0,831905236	4,300949502
Dentro dos grupos	0,324495193	22	0,014749781			
Total	0,325175706	23				

### H.3 Análise da influência da relação a/g (verificação de diferenças estatisticamente significativas)

- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 x Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,018979	1	0,018979	1,019674	0,324091	4,324794
Dentro dos grupos	0,390862	21	0,018612			
Total	0,409841	22				

- Parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 x Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,208188	1	0,208188	9,407782	0,005641	4,30095
Dentro dos grupos	0,486845	22	0,022129			
Total	0,695033	23				

- Parede BCO-SEC-SCH-PGE0,6 x Parede BCO-U1,0-SCH-PGE0,8

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,116989	1	0,116989	5,822025	0,024604	4,30095
Dentro dos grupos	0,442073	22	0,020094			
Total	0,559062	23				

- Parede BCO-SEC-SCH-PGE0,6 x Parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,099089	1	0,099089	10,49877	0,00392	4,324794
Dentro dos grupos	0,198201	21	0,009438			
Total	0,297289	22				

- Parede BCE-SEC- SCH-PGE0,8 x Parede BCE-SEC- SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,005547	1	0,005547	0,245533	0,625151	4,30095
Dentro dos grupos	0,497003	22	0,022591			
Total	0,50255	23				

- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 x Parede BCE-SEC- SCH-PGE0,8 x Parede BCE-SEC- SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,045422	2	0,022711	1,260351	0,297253	3,294537
Dentro dos grupos	0,576626	32	0,01802			
Total	0,622048	34				

- Parede BCE-U0,5 -SCH-PGE0,6 x Parede BCE-U0,5 - SCH-PGE0,8 x Parede BCE-U0,5-SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,679639	2	0,33982	41,60253	9,53E-10	3,284918
Dentro dos grupos	0,269552	33	0,008168			
Total	0,949191	35				

- Parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,6 x Parede BCE-U1,0 - SCH-PGE0,8 x Parede BCE-U1,0 - SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,31029	2	0,155145	7,654171	0,001858	3,284918
Dentro dos grupos	0,668888	33	0,020269			
Total	0,979178	35				

- Parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 x Parede BCE-U1,0-SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,000464	1	0,000464	0,028107	0,868154	4,225201
Dentro dos grupos	0,429283	26	0,016511			
Total	0,429747	27				

- Parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,6 x Parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,8

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,576565	1	0,576565	55,51157	1,88E-07	4,30095
Dentro dos grupos	0,228501	22	0,010386			
Total	0,805066	23				

- Parede BCE-U0,5 - SCH-PGE0,8 x Parede BCE-U0,5 - SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,010327	1	0,010327	1,547772	0,226557	4,30095
Dentro dos grupos	0,146786	22	0,006672			
Total	0,157113	23				

- Parede BCO-SEC- SCH-PGE0,8 x Parede BCO-SEC- SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,000268	1	0,000268	0,047328	0,829785	4,30095
Dentro dos grupos	0,124512	22	0,00566			
Total	0,12478	23				

- Parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,6 x Parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,8

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,002216	1	0,002216	0,196239	0,662099	4,30095
Dentro dos grupos	0,248379	22	0,01129			
Total	0,250594	23				

- Parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,8 x Parede BCE-SEC- SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,045439	1	0,045439	6,685961	0,01687	4,30095
Dentro dos grupos	0,149515	22	0,006796			
Total	0,194953	23				

- Parede BCO-U1,0-SCH-PGE0,8 x Parede BCO-U1,0-SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,010934	1	0,010934	0,44366	0,512286	4,30095
Dentro dos grupos	0,542196	22	0,024645			
Total	0,55313	23				

- Parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,6 x Parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,8 x Parede BCE-U0,5  
- SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,123961	2	0,06198	8,360819	0,001199	3,294537
Dentro dos grupos	0,237222	32	0,007413			
Total	0,361183	34				

- Parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,6 x Parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,8 x Parede BCO-U0,5-SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,050161	2	0,02508	2,34026	0,112086	3,284918
Dentro dos grupos	0,353659	33	0,010717			
Total	0,40382	35				

- Parede BCO-U1,0-SCH-PGE0,6 x Parede BCO-U1,0-SCH-PGE0,8 x Parede BCO-U1,0-SCH-PGE1,0

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,218252	2	0,109126	4,949719	0,013183	3,284918
Dentro dos grupos	0,727546	33	0,022047			
Total	0,945798	35				

#### H.4 Análise da influência da camada de ancoragem (verificação de diferenças estatisticamente significativas)

- Verificação se há diferenças estatisticamente significativas entre a base cerâmica sem tratamento e com os tipos de camadas de ancoragem

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,251964214	2	0,125982107	6,243563259	0,005015563	3,284918
Dentro dos grupos	0,665871292	33	0,020177918			
Total	0,917835507	35				

- Verificação se há diferenças estatisticamente significativas entre a base cerâmica sem tratamento e com camada de ancoragem com gesso cola

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,140022927	1	0,140022927	5,668466772	0,026357509	4,30095
Dentro dos grupos	0,543445789	22	0,024702081			
Total	0,683468716	23				

Teste-t: duas amostras em par para médias

	<i>Sem</i>	<i>Gesso cola</i>
Média	0,501210493	0,653975523
Variância	0,028294438	0,021109724
Observações	12	12
Correlação de Pearson	0,15023822	
Hipótese da diferença de média	0,05	
gl	11	
	-	
Stat t	3,424881506	
P(T<=t) uni-caudal	0,002837053	
t crítico uni-caudal	1,795884819	
P(T<=t) bi-caudal	0,005674106	
t crítico bi-caudal	2,20098516	

- Verificação se há diferenças estatisticamente significativas entre a base cerâmica sem tratamento e com camada de ancoragem com chapisco de cimento convencional

ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,010537714	1	0,010537714	0,534583	0,472403	4,30095
Dentro dos grupos	0,433664323	22	0,019712015			
Total	0,444202038	23				

- Verificação se há diferenças estatisticamente significativas entre a base de concreto 1 sem tratamento e com os tipos de camadas de ancoragem

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,181411785	2	0,590705893	8,773739456	0,00087991	3,284918
Dentro dos grupos	2,22177722	33	0,067326582			
Total	3,403189005	35				

- Verificação se há diferenças estatisticamente significativas entre a base de concreto 1 sem tratamento e com camada de ancoragem com gesso cola

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,423699876	1	0,423699876	5,159497839	0,033251498	4,30095
Dentro dos grupos	1,806648158	22	0,082120371			
Total	2,230348034	23				

- Verificação se há diferenças estatisticamente significativas entre a base de concreto 1 sem tratamento e com camada de ancoragem com chapisco de cimento convencional

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,164904154	1	1,164904154	29,56256	1,84E-05	4,30095
Dentro dos grupos	0,866903559	22	0,039404707			
Total	2,031807713	23				

- Verificação se há diferenças estatisticamente significativas entre a base de concreto 2 sem tratamento e com os tipos de camadas de ancoragem

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,458129564	2	1,229064782	25,78282323	1,80626E-07	3,284918
Dentro dos grupos	1,573106926	33	0,047669907			
Total	4,03123649	35				

- Verificação se há diferenças estatisticamente significativas entre a base de concreto 2 sem tratamento e com camada de ancoragem com gesso cola

## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	1,463486571	1	1,463486571	25,88869414	4,25744E-05	4,30095
Dentro dos grupos	1,243658887	22	0,056529949			
Total	2,707145458	23				

- Verificação se há diferenças estatisticamente significativas entre a base de concreto 2 sem tratamento e com camada de ancoragem com chapisco de cimento convencional

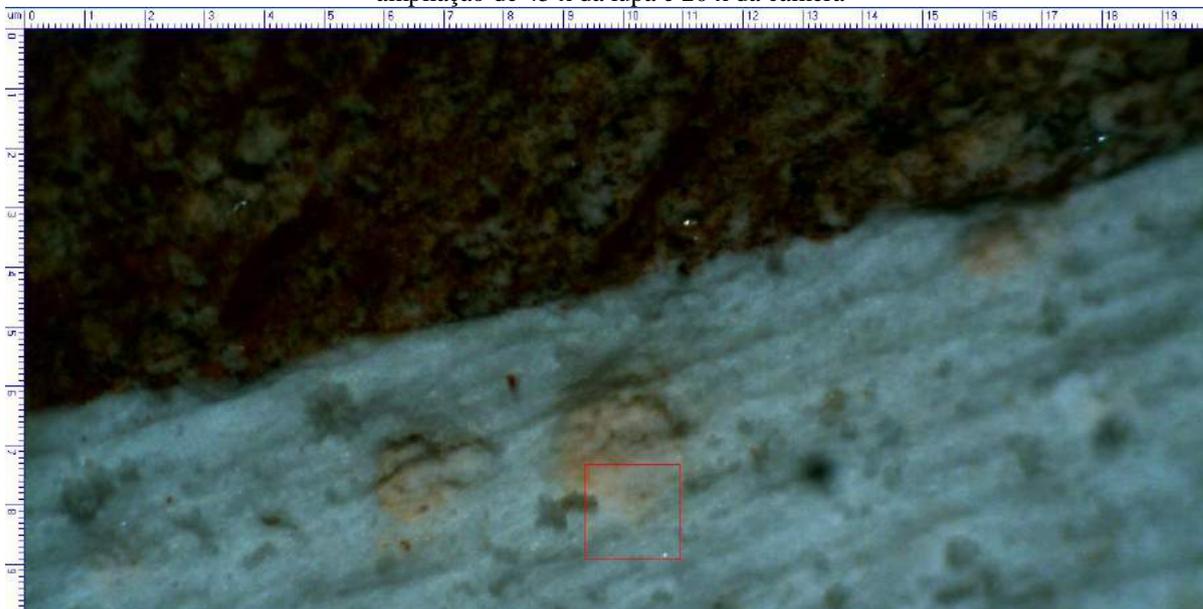
## ANOVA

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	2,156715121	1	2,156715121	144,0219	3,97E-11	4,30095
Dentro dos grupos	0,329448039	22	0,014974911			
Total	2,486163159	23				

## APÊNDICE I – IMAGENS DAS INTERFACES VISUALIZADAS POR LUPA

Neste apêndice, são apresentadas outras imagens dos sistemas de revestimento em pasta de gesso analisados por meio de lupa, que não foram apresentados no Capítulo 4.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-U1,0-SCH-PGE0,6 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



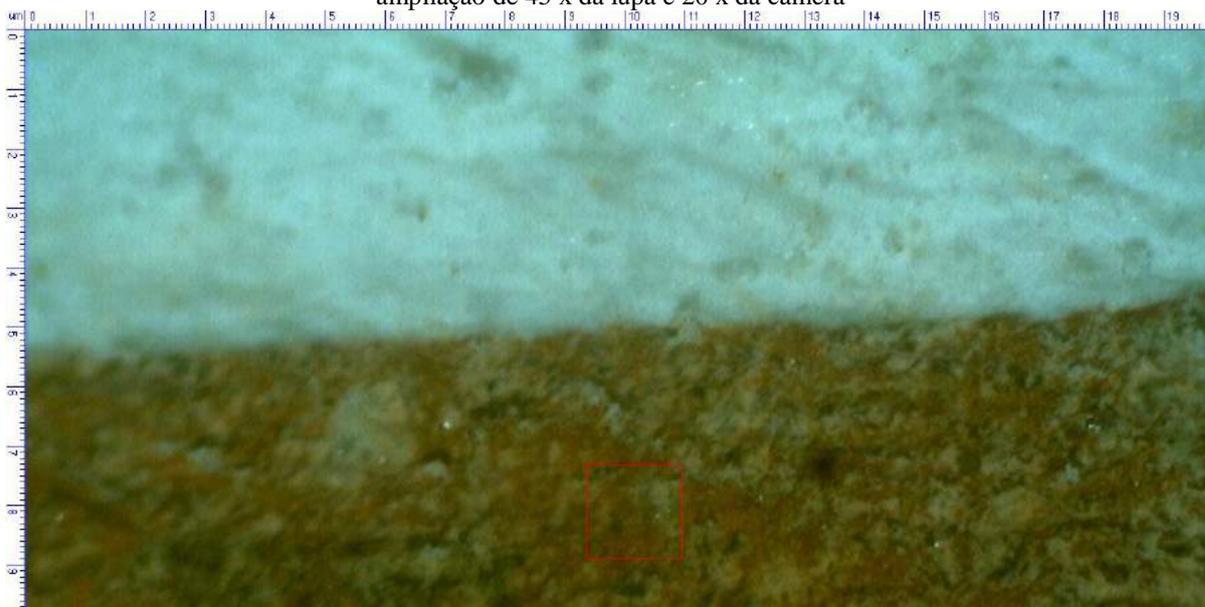
Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-U0,5-SCH-PGE0,6 visualizada por lupa com ampliação de 15x da lupa e 20 x da câmera



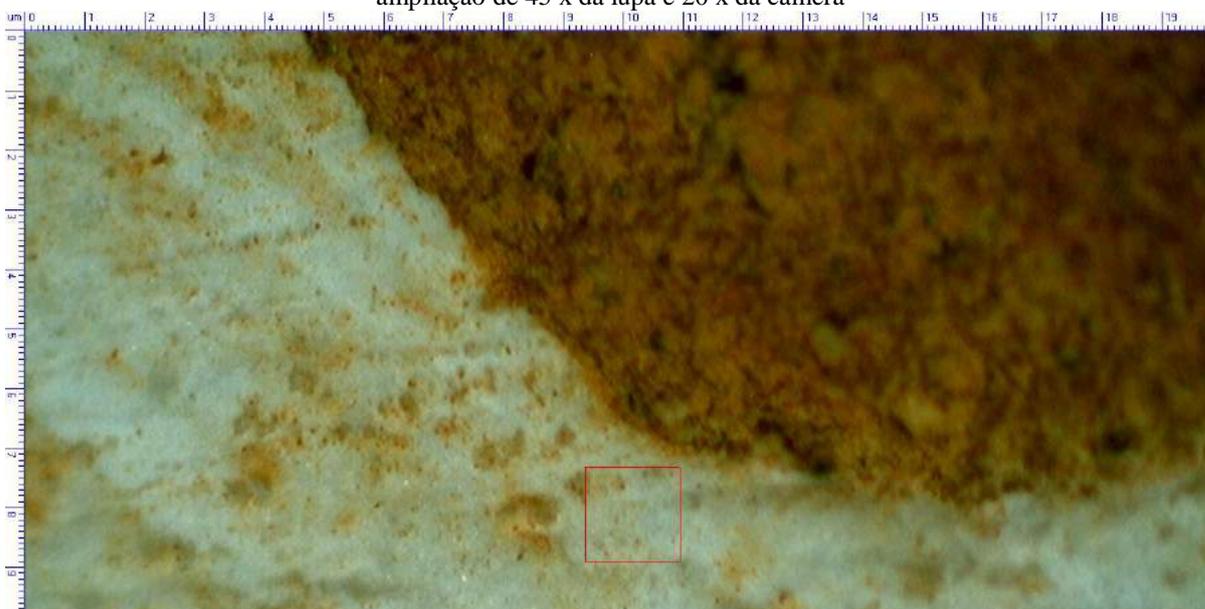
Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-U0,5-SCH-PGE0,6 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



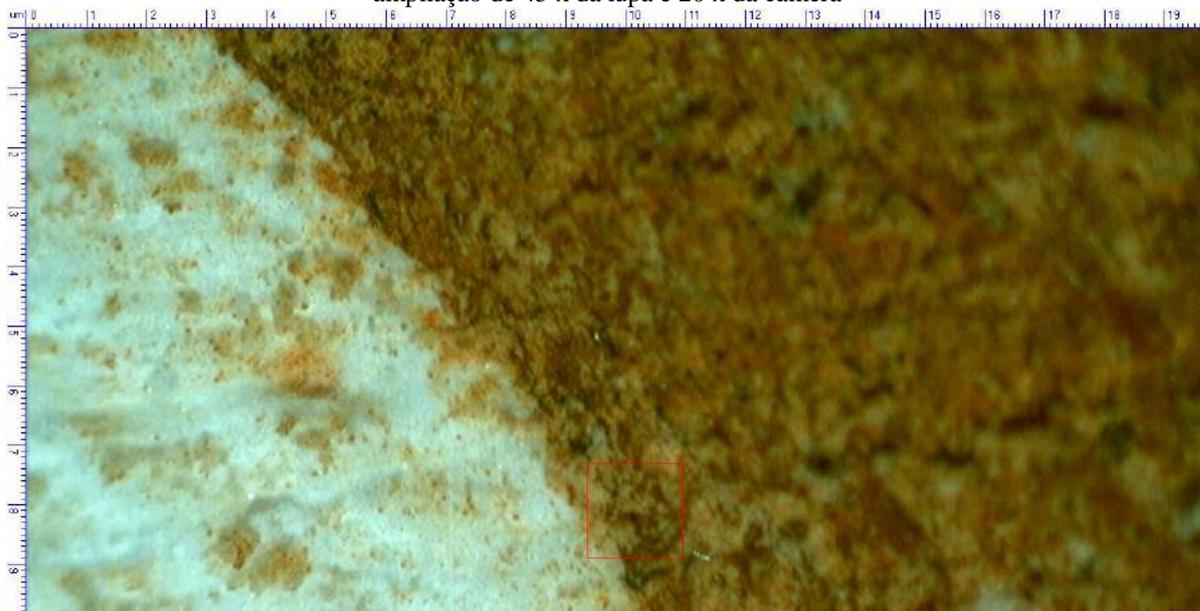
Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-SEC-SCH-PGE0,6 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-SEC-SCH-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



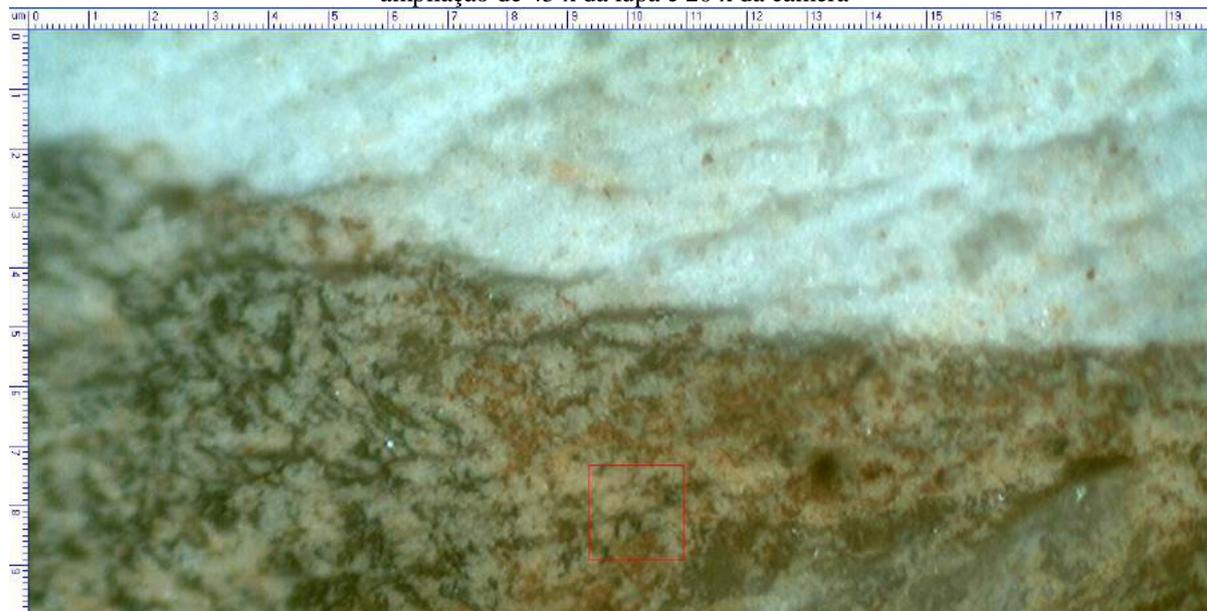
Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-U1,0-SCH-PGE1,0 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-U0,5-SCH-PGE1,0 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-SEC-CHC-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 13 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-SEC-CHC-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCE-SEC-CHG-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 15 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCO-U1,0- SCH-PGE0,6 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCO-U0,5-SCH-PGE0,6 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCO-SEC-SCH-PGE0,6 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCO-U1,0- SCH-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCO-SEC-SCH-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCO-U1,0-SCH-PGE1,0 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCO-U0,5-SCH-PGE1,0 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento BCO-SEC-SCH-PGE1,0 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento PC1-SEC-CHC-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento PC1-SEC-CHG-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 15 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento PC1-SEC-CHG-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da superfície do bloco em contato com o revestimento do sistema PC2-SEC- SCH-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



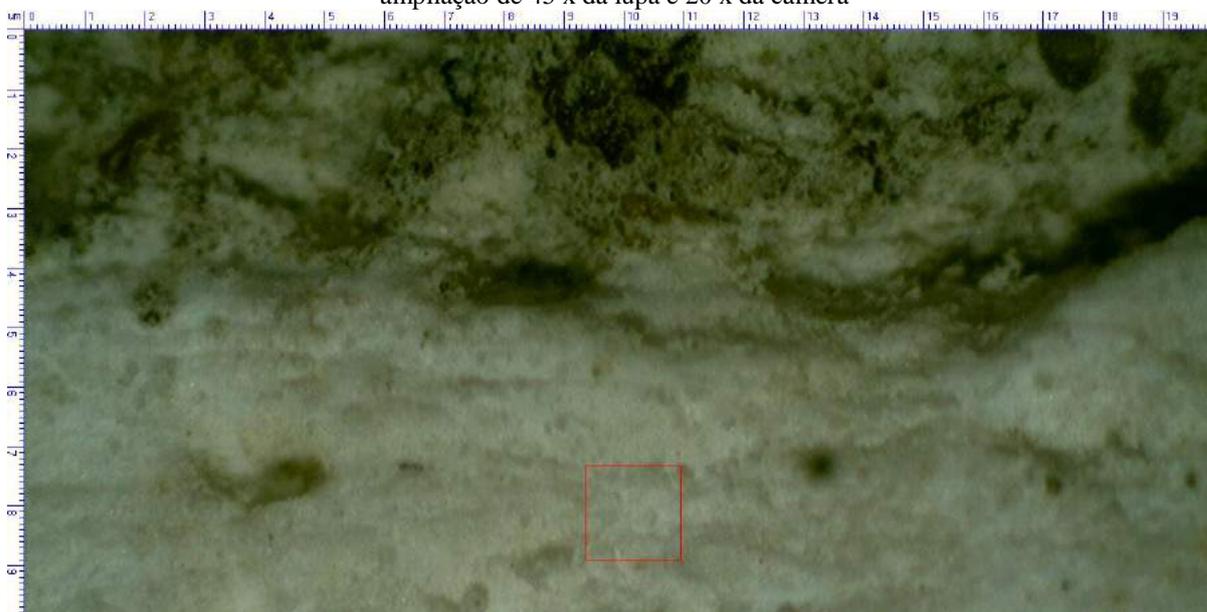
Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento PC2-SEC-CHC-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 15 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento PC2-SEC-CHC-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento PC2-SEC- CHG-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 15 x da lupa e 20 x da câmera



Fonte: Autora, 2021.

Figura I.1 – Imagem da interface do sistema de revestimento PC2-SEC- CHG-PGE0,8 visualizada por lupa com ampliação de 45 x da lupa e 20 x da câmera

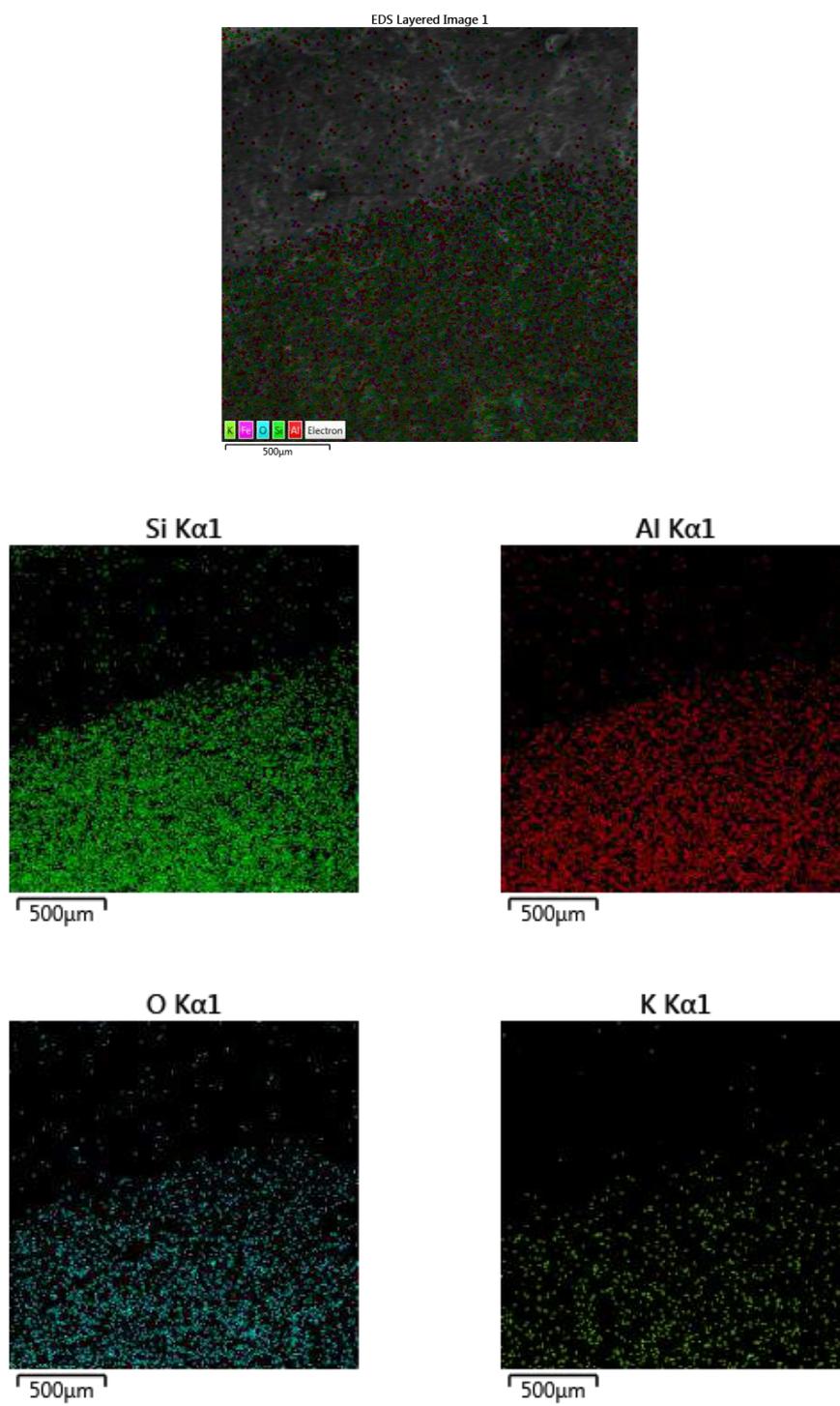


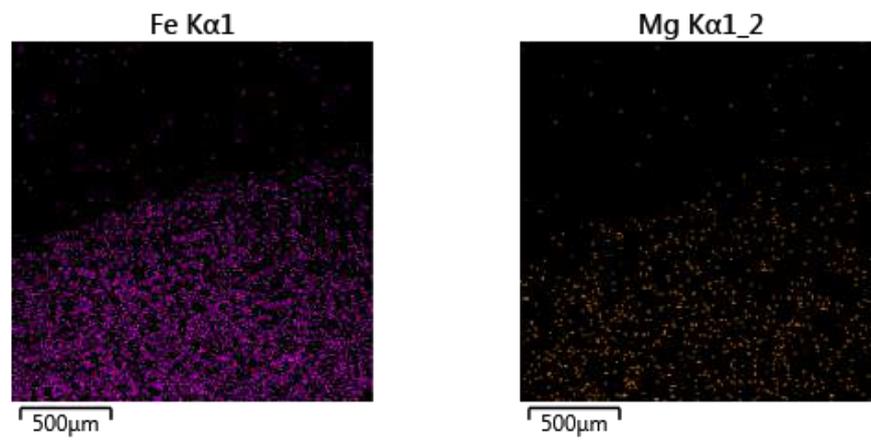
Fonte: Autora, 2021.

## APÊNDICE J – DOT MAPPING

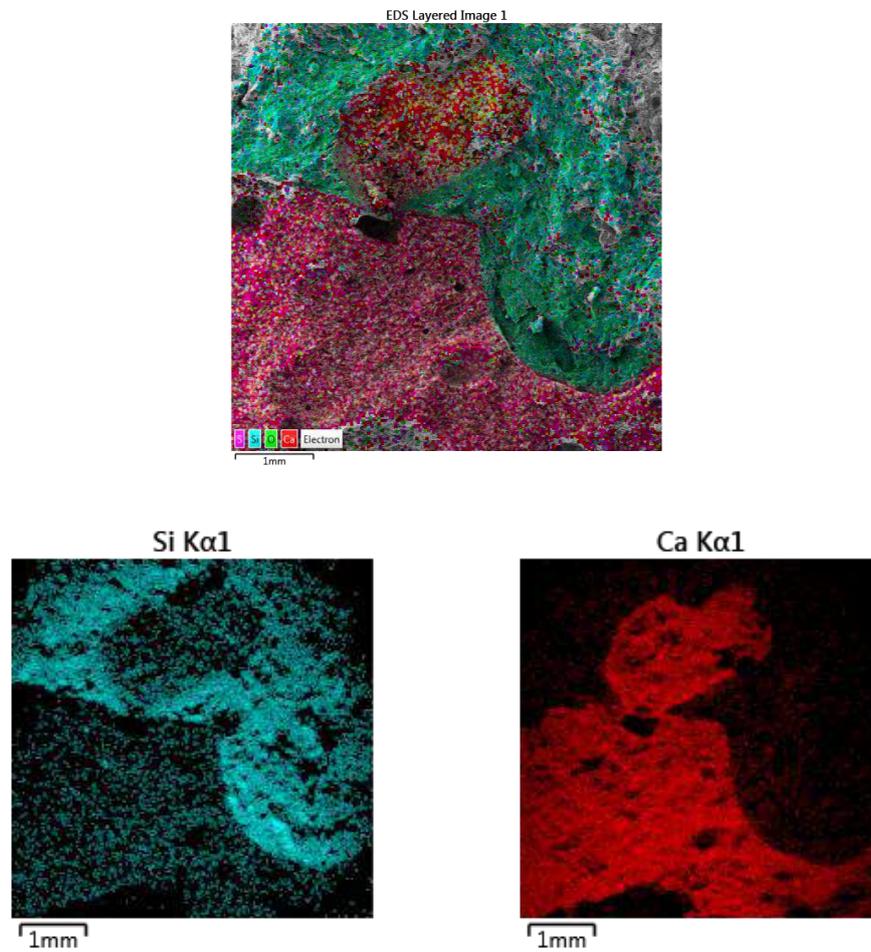
Neste apêndice, são apresentados os *dot mapping* completos de todas as amostras analisadas.

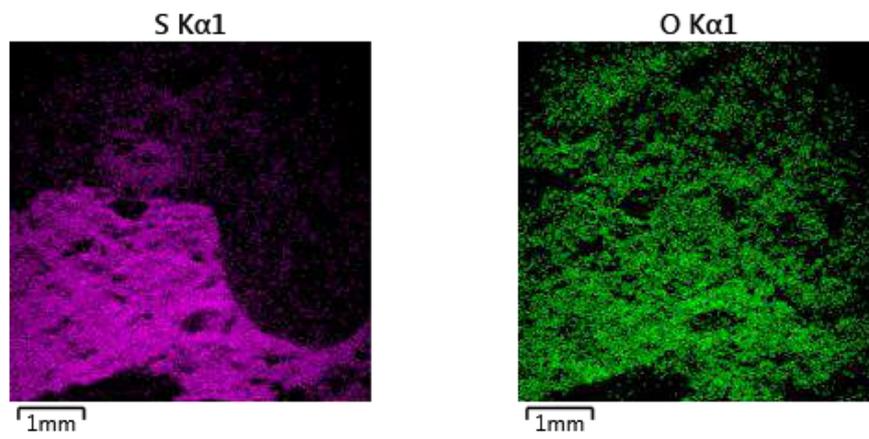
- Parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 – Superfície do bloco



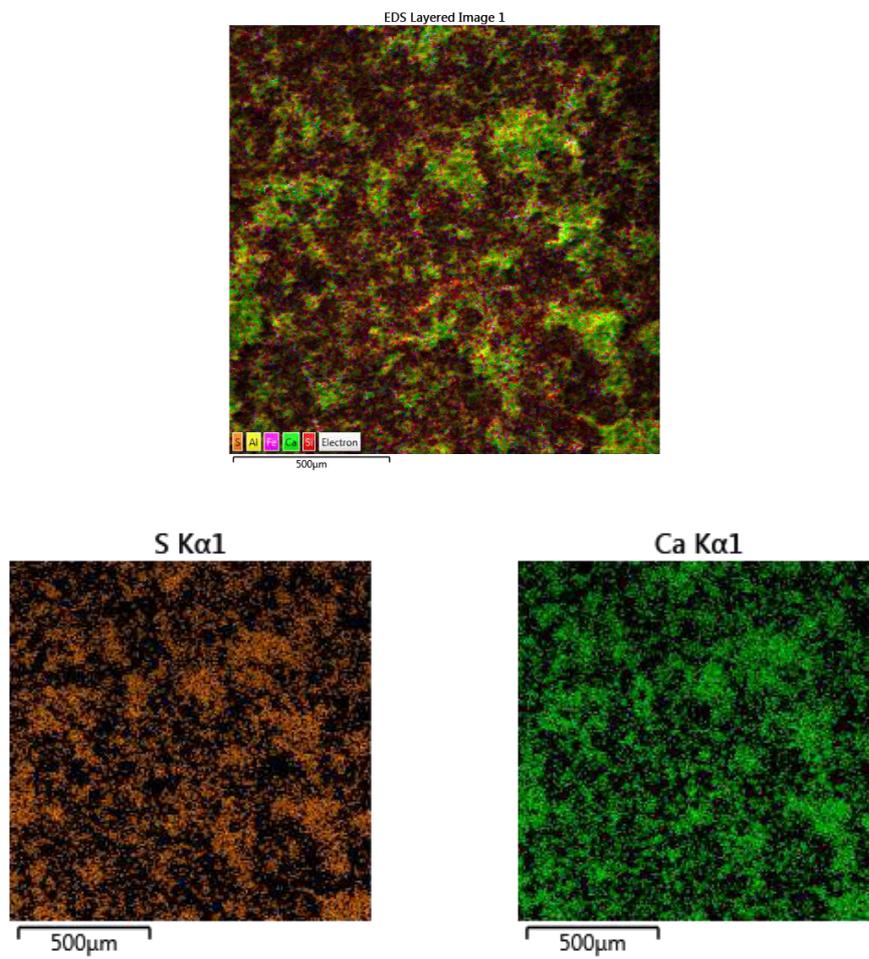


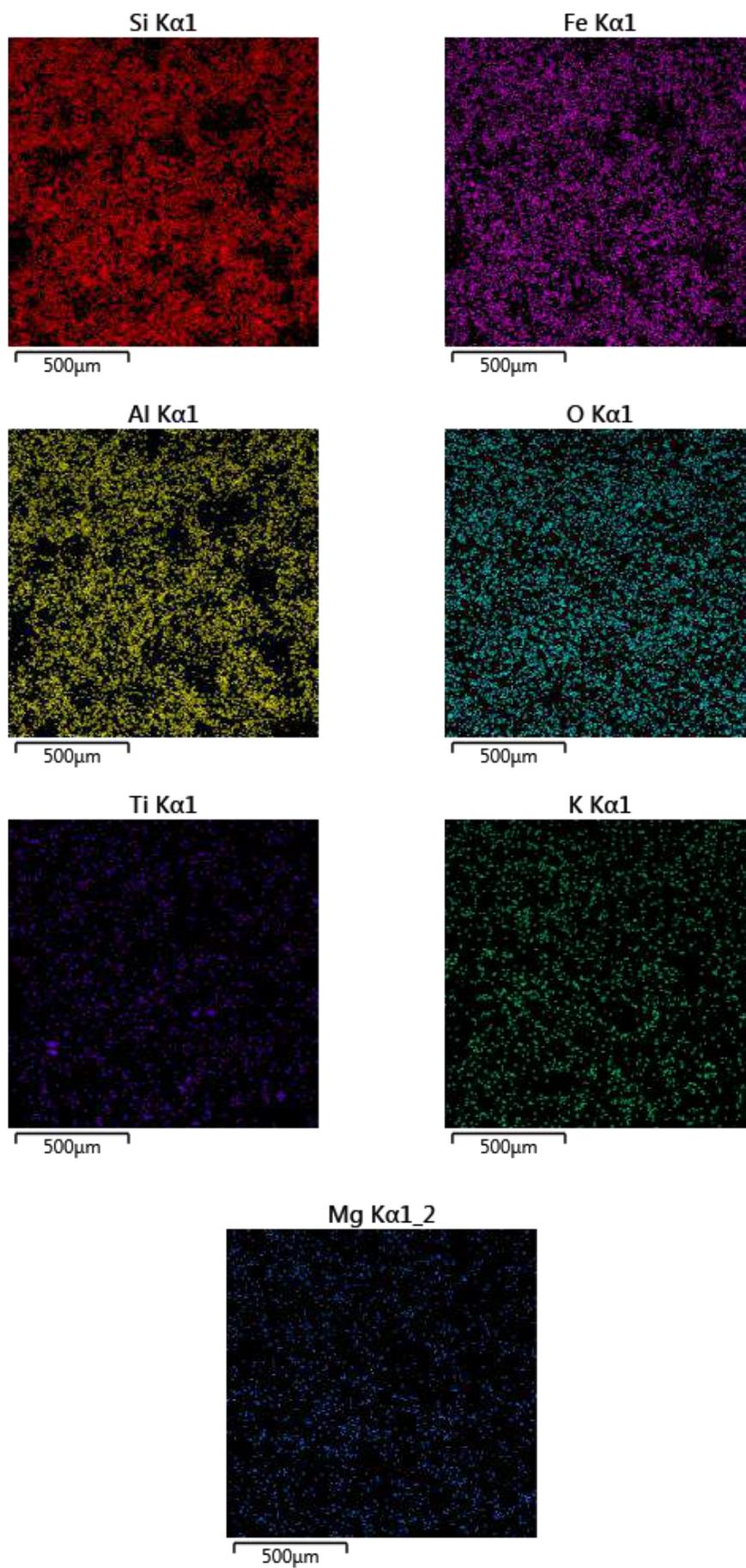
- Parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 – Interface do sistema de revestimento



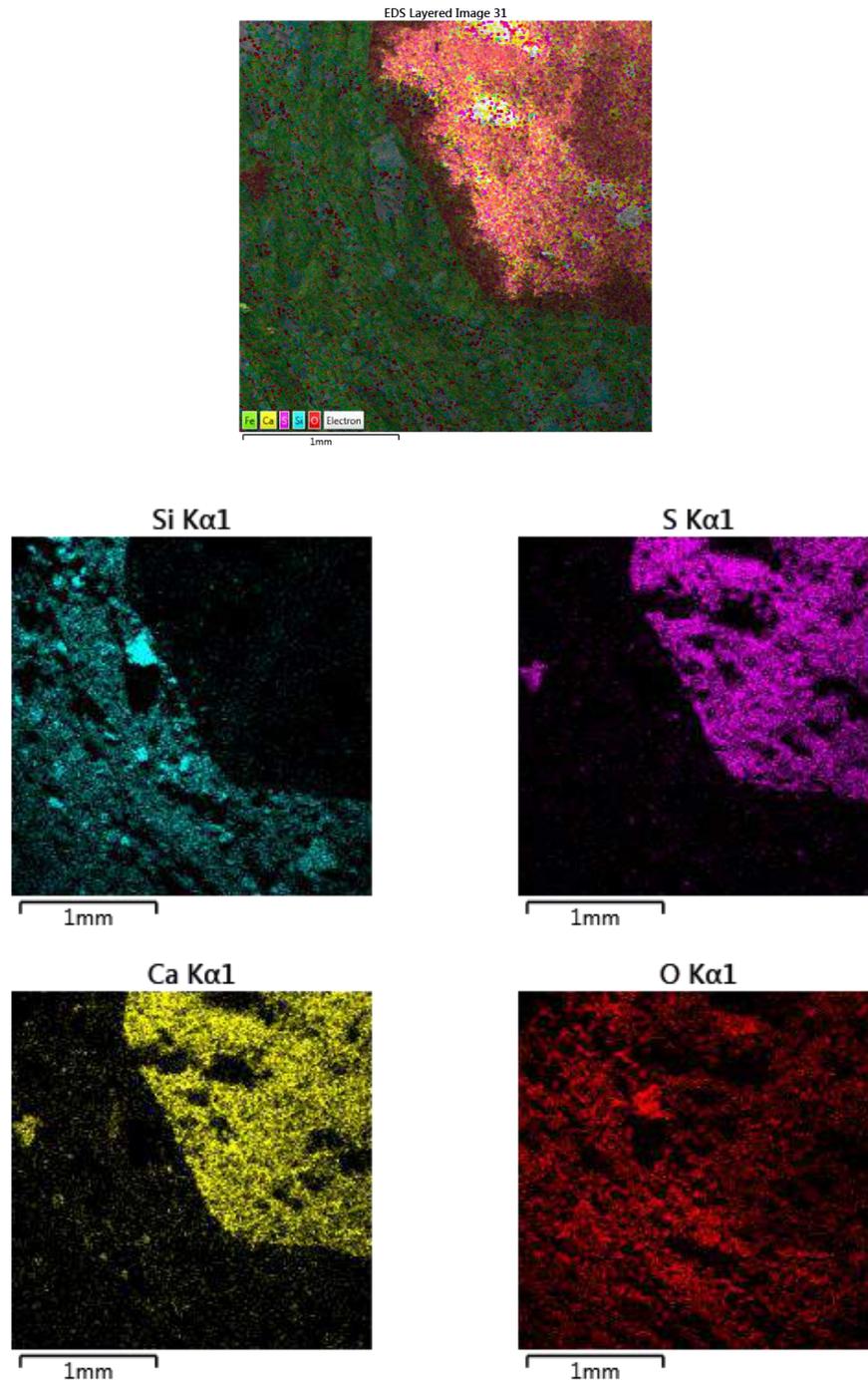


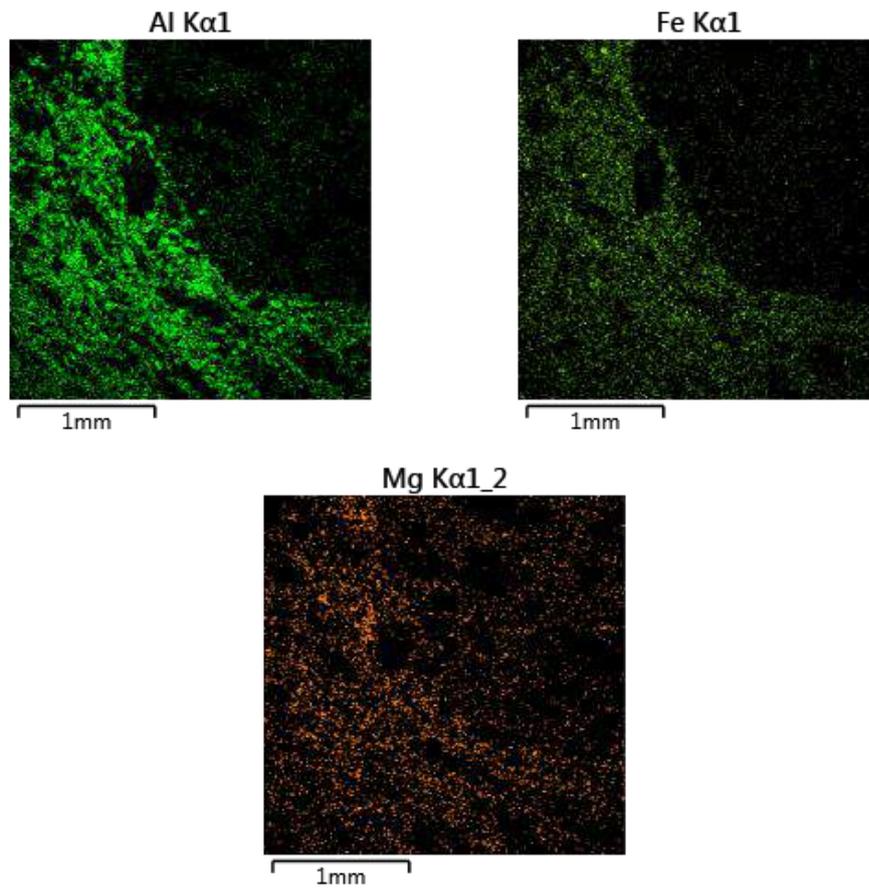
- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 – Superfície do bloco



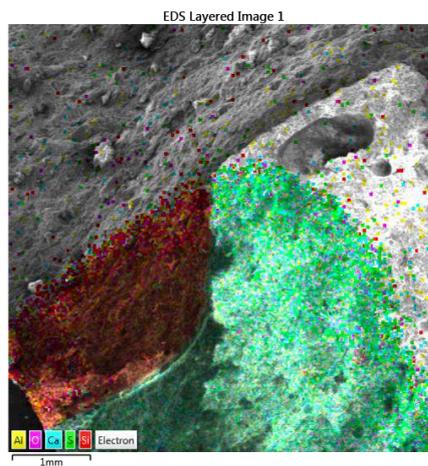


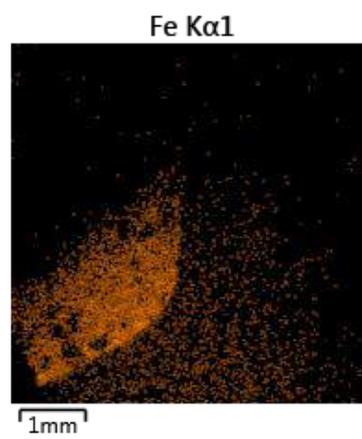
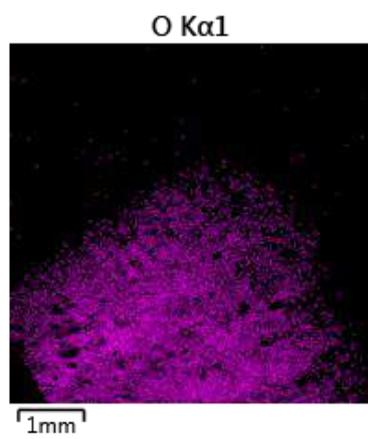
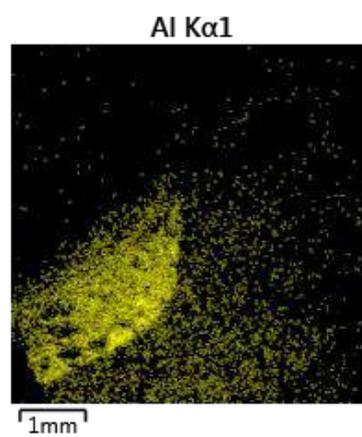
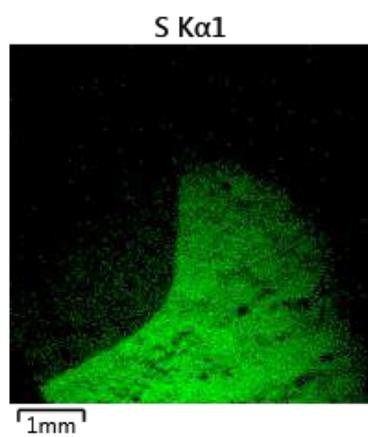
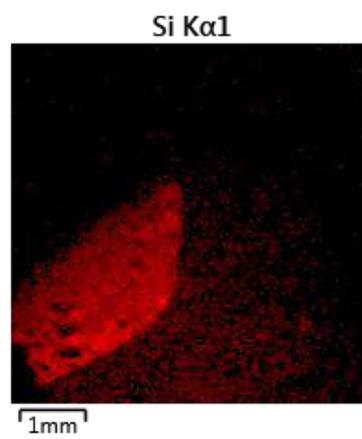
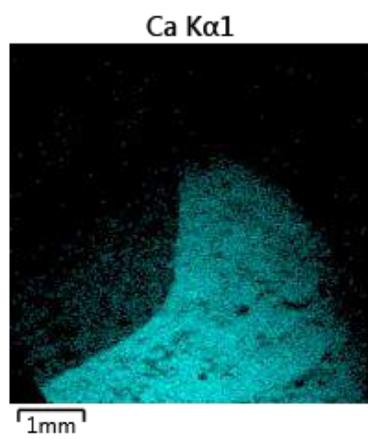
- Parede BCE-U0,5-SCH-PGE0,8 – Interface do sistema de revestimento



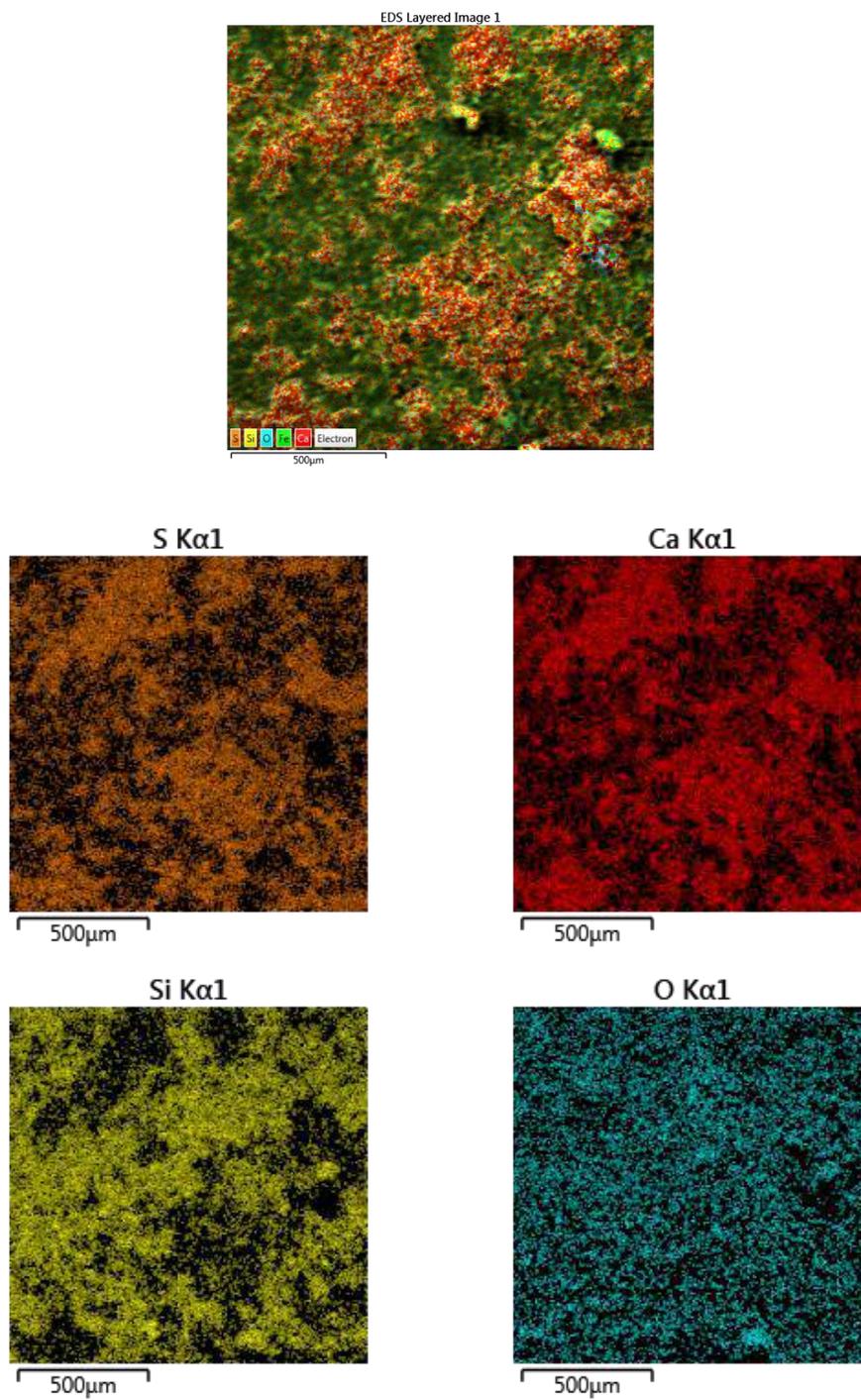


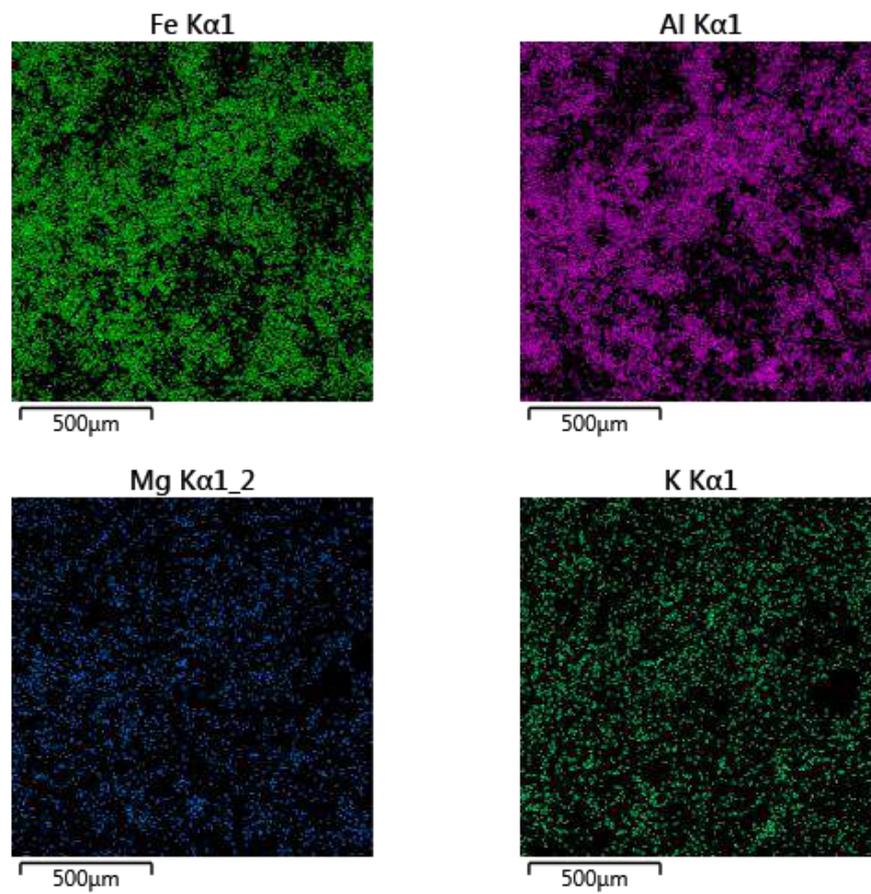
- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 – Interface do sistema de revestimento



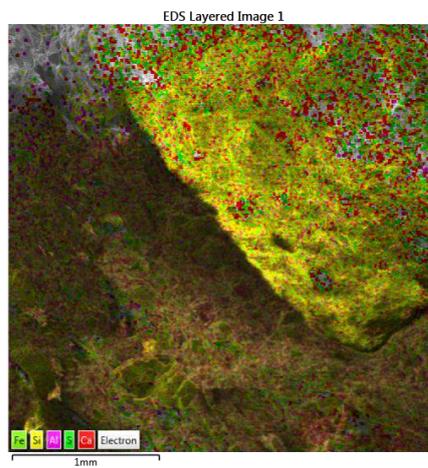


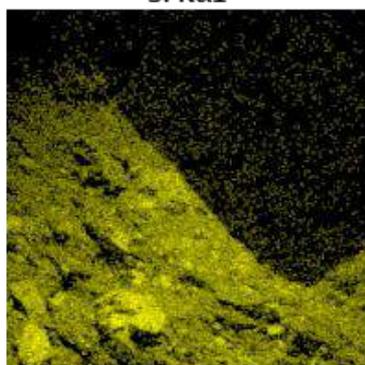
- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 – Superfície do bloco



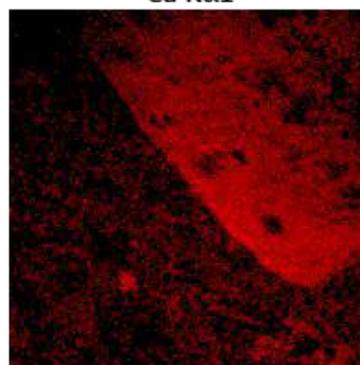


- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 – Interface do sistema de revestimento

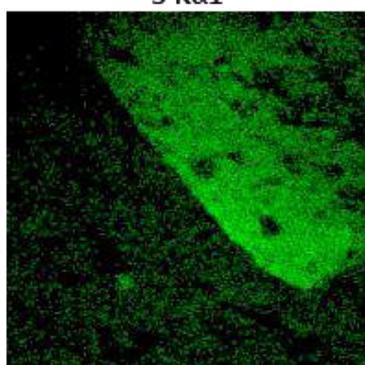


Si K $\alpha$ 1

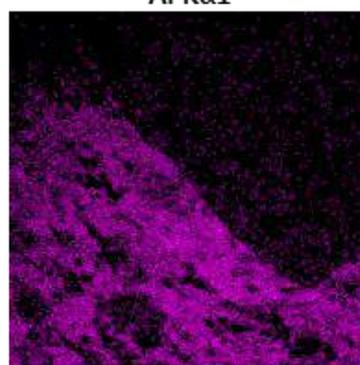
1mm

Ca K $\alpha$ 1

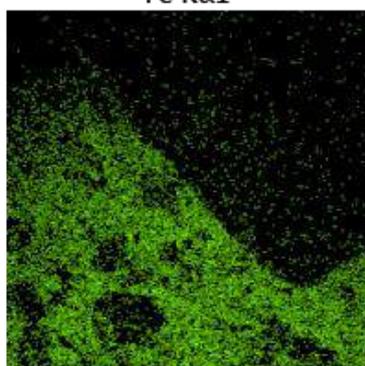
1mm

S K $\alpha$ 1

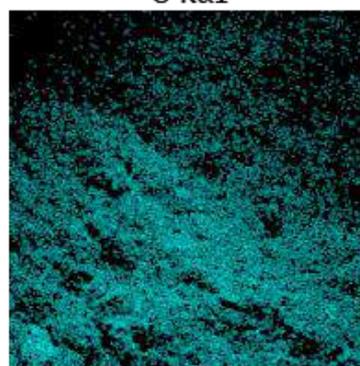
1mm

Al K $\alpha$ 1

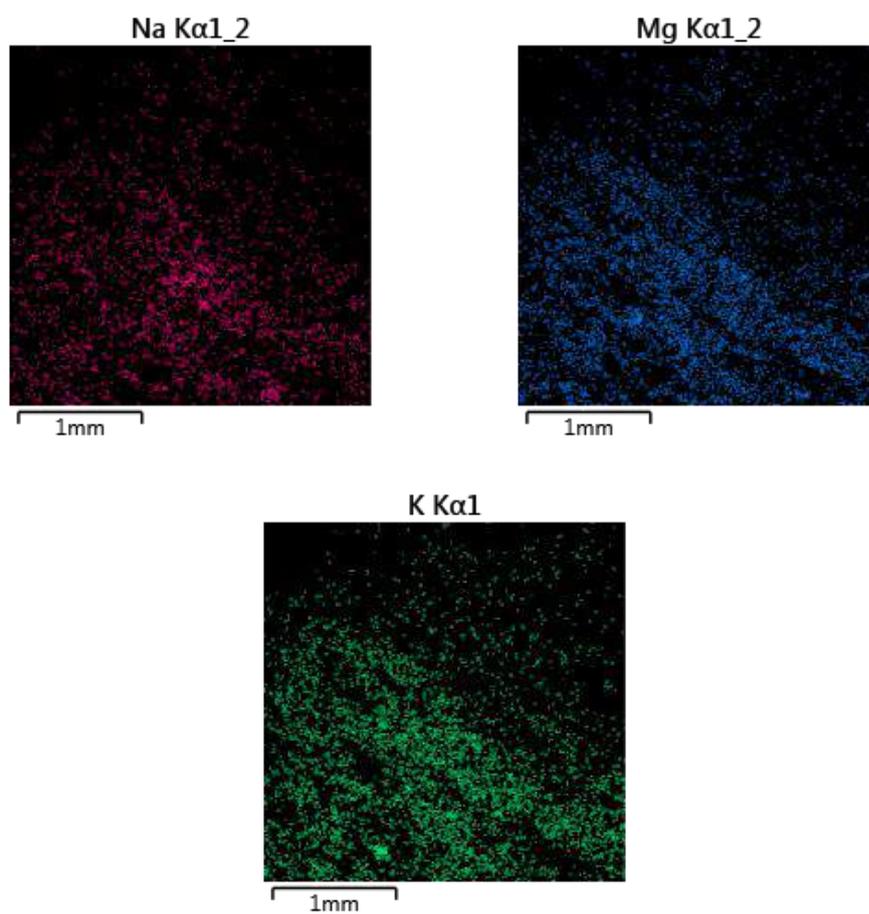
1mm

Fe K $\alpha$ 1

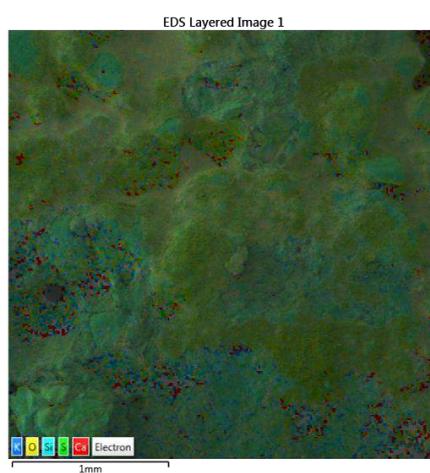
1mm

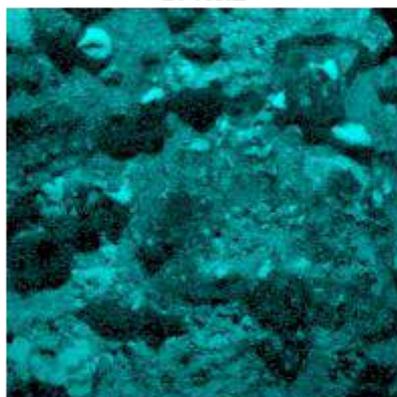
O K $\alpha$ 1

1mm

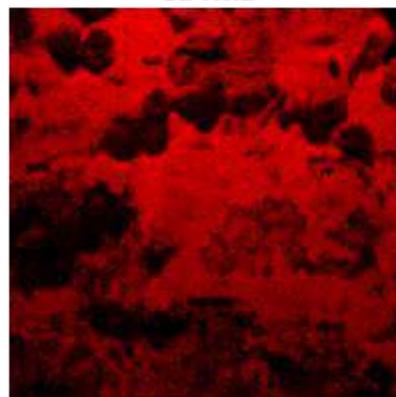


- Parede BCO-U1,0-SCH-PGE0,6 – Superfície do bloco

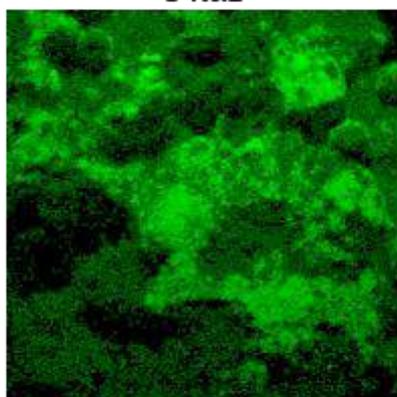


Si K $\alpha$ 1

1mm

Ca K $\alpha$ 1

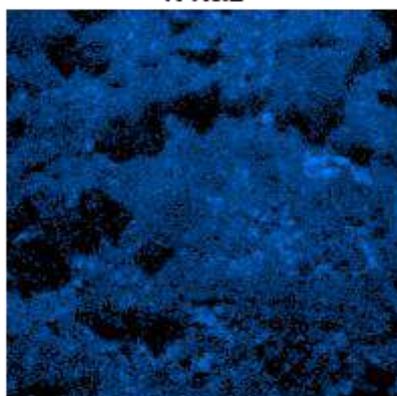
1mm

S K $\alpha$ 1

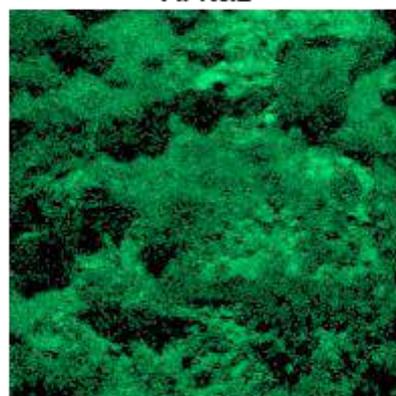
1mm

O K $\alpha$ 1

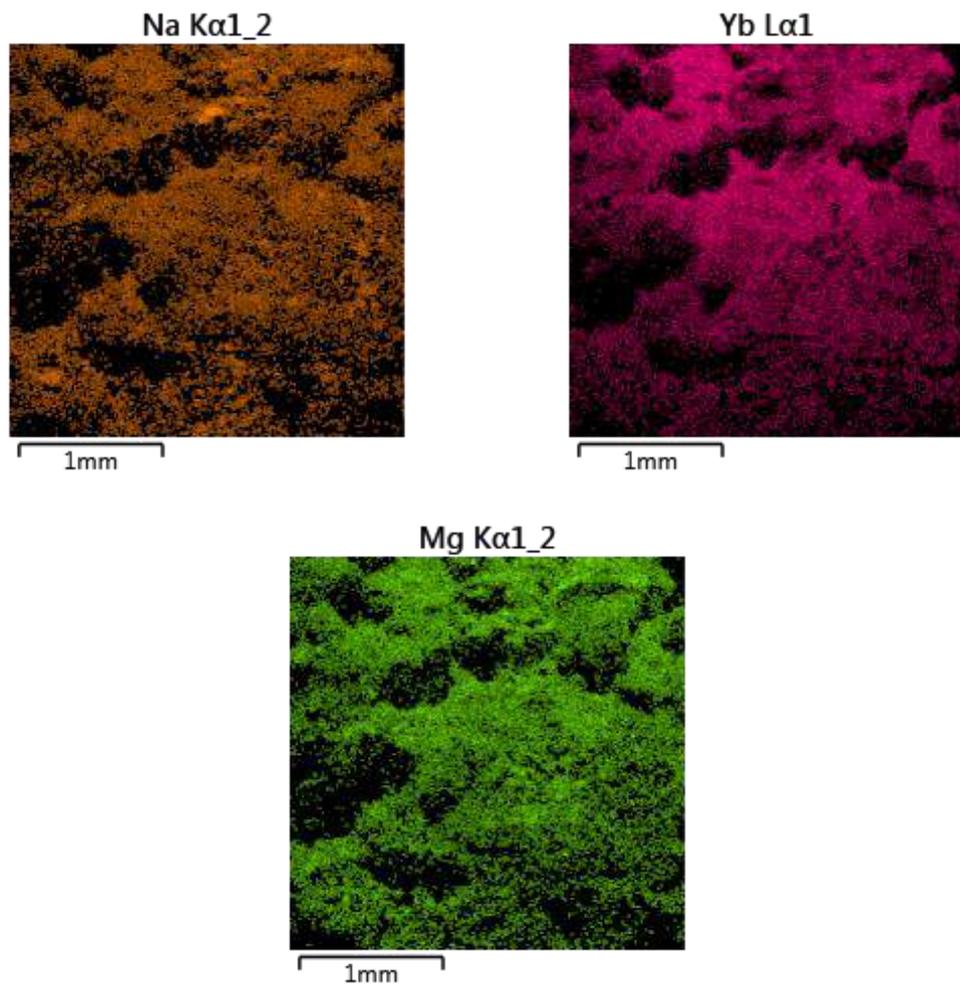
1mm

K K $\alpha$ 1

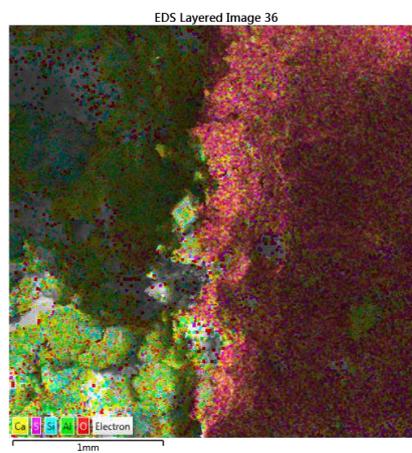
1mm

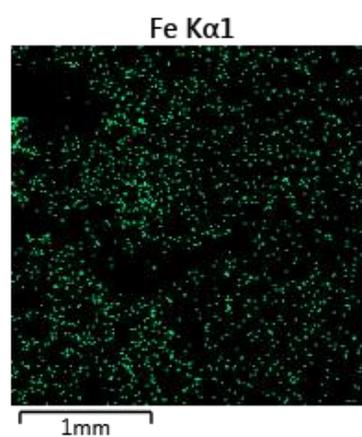
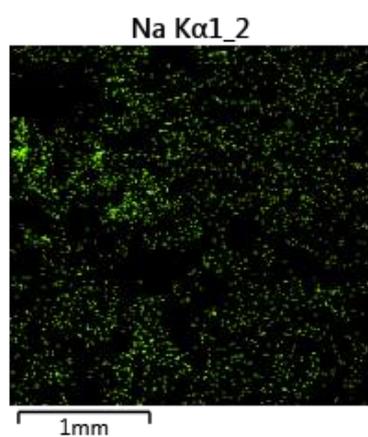
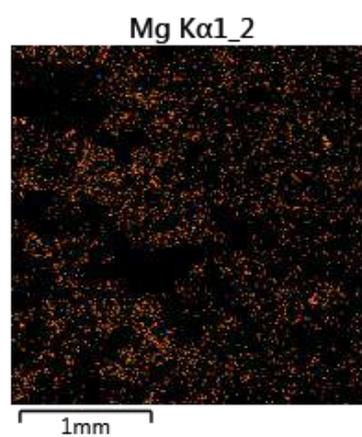
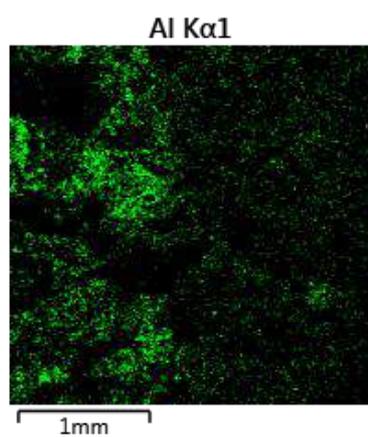
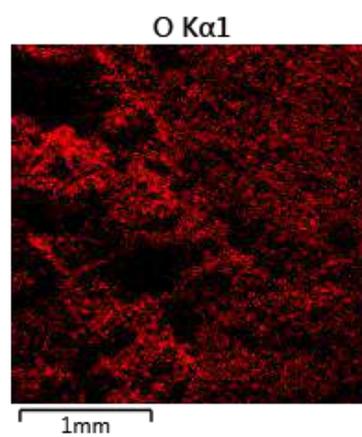
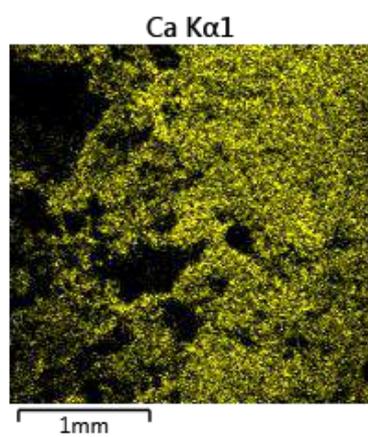
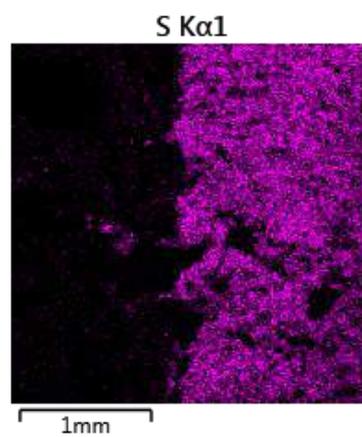
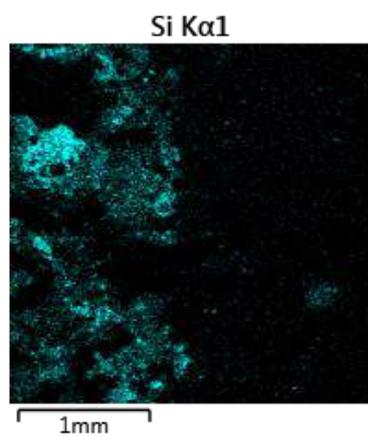
Al K $\alpha$ 1

1mm

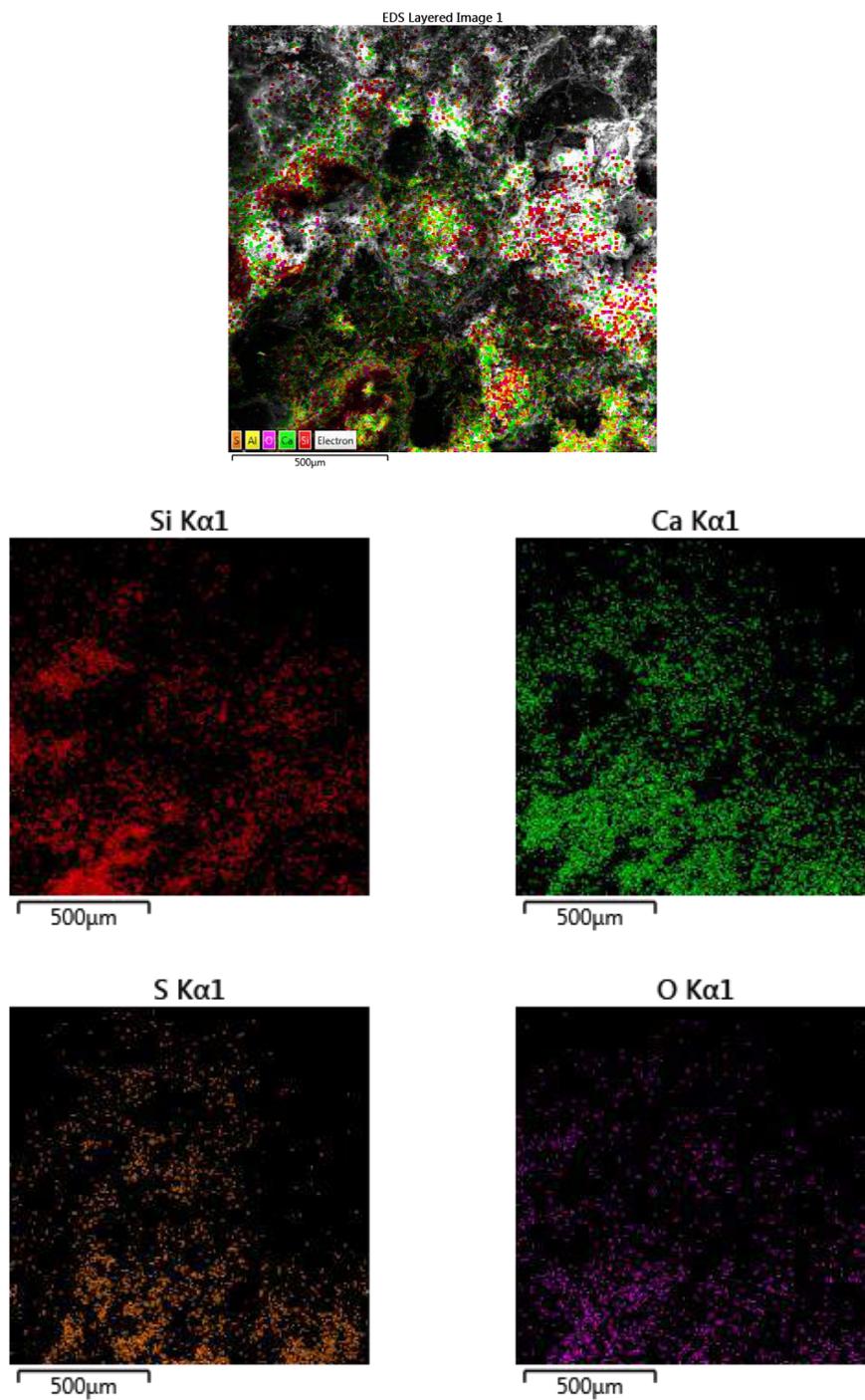


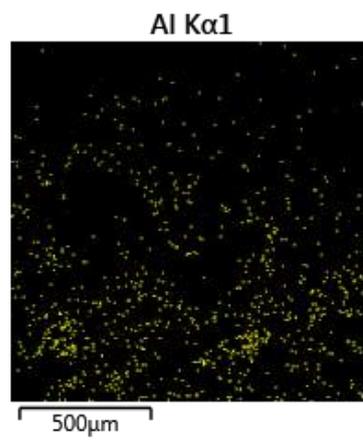
- Parede BCO-SEC-SCH-PGE0,6 – Interface do sistema de revestimento



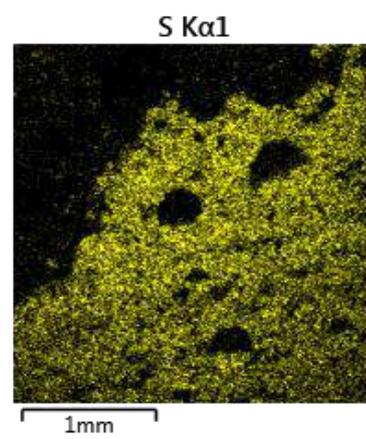
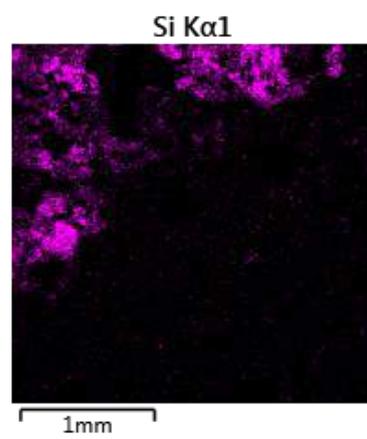
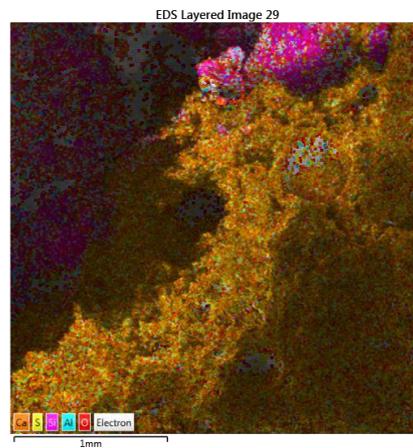


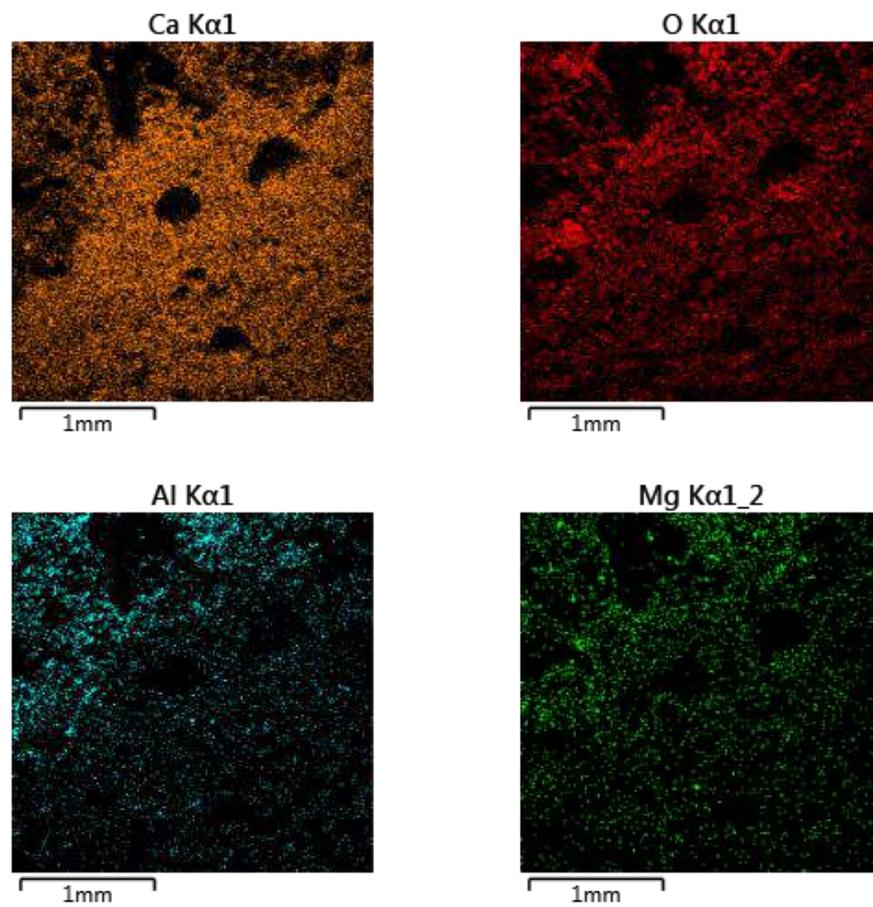
- Parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8 – Superfície do bloco



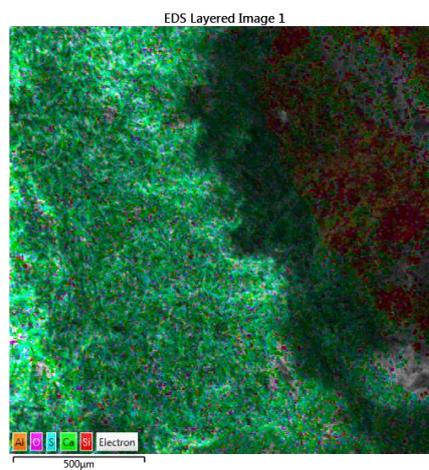


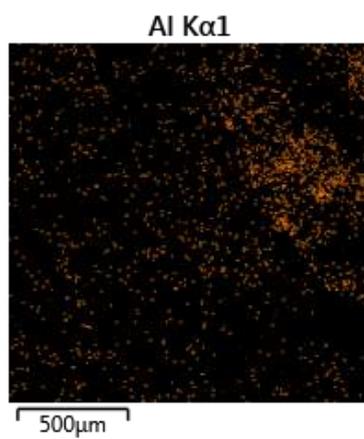
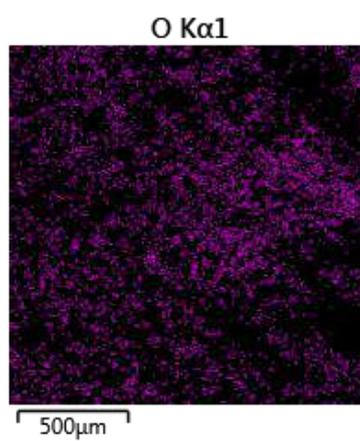
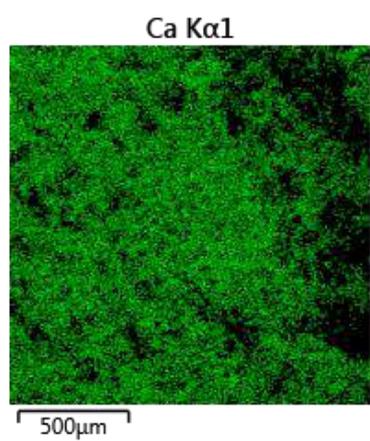
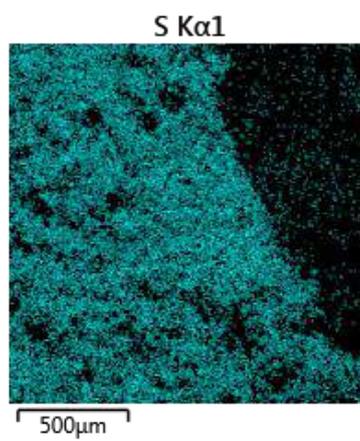
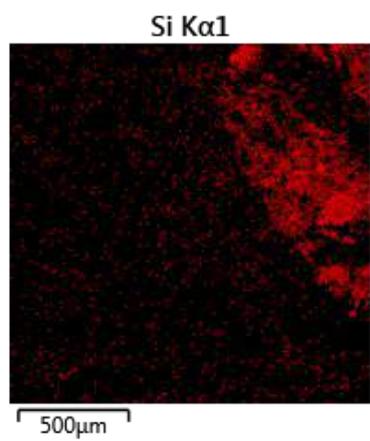
- Parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,8 - Interface do sistema de revestimento





- Parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8 – Interface do sistema de revestimento

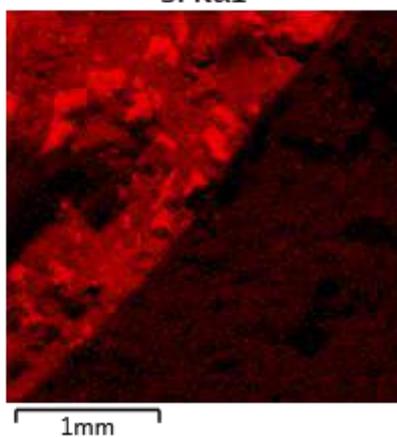




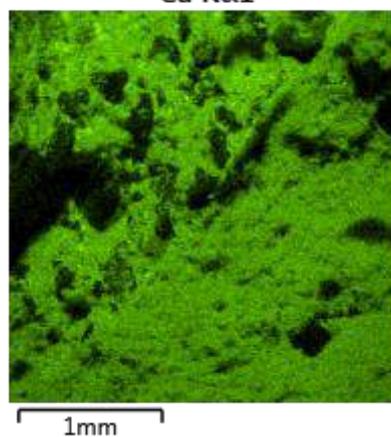
- Parede PC1-SEC-SCH-PGE0,8 - Interface do sistema de revestimento



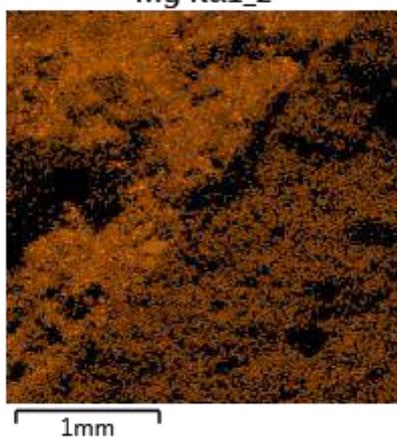
Si K $\alpha$ 1



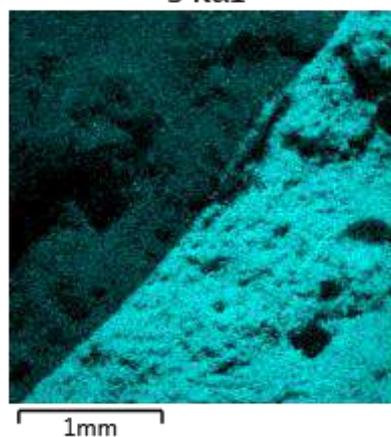
Ca K $\alpha$ 1

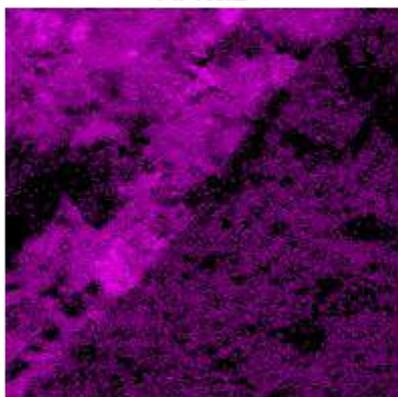


Mg K $\alpha$ 1\_2

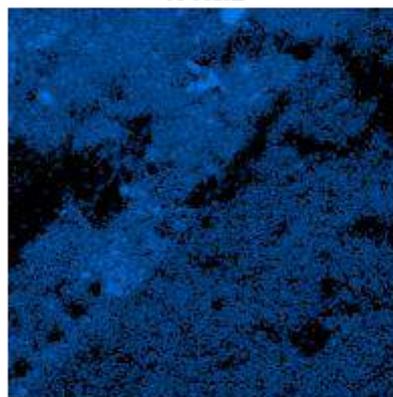


S K $\alpha$ 1

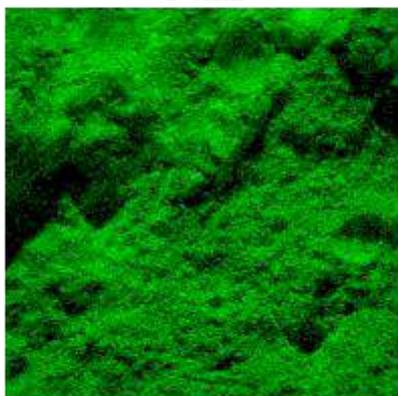


Al K $\alpha$ 1

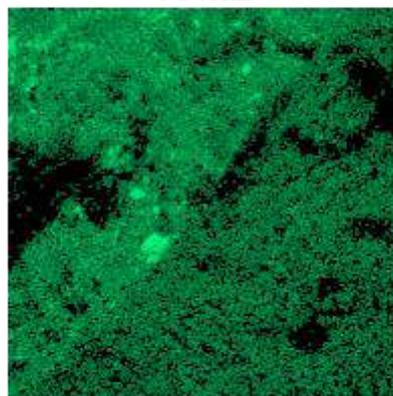
1mm

K K $\alpha$ 1

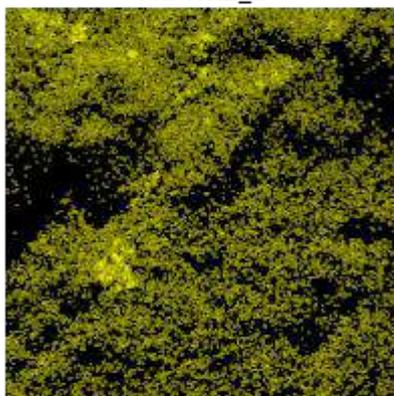
1mm

O K $\alpha$ 1

1mm

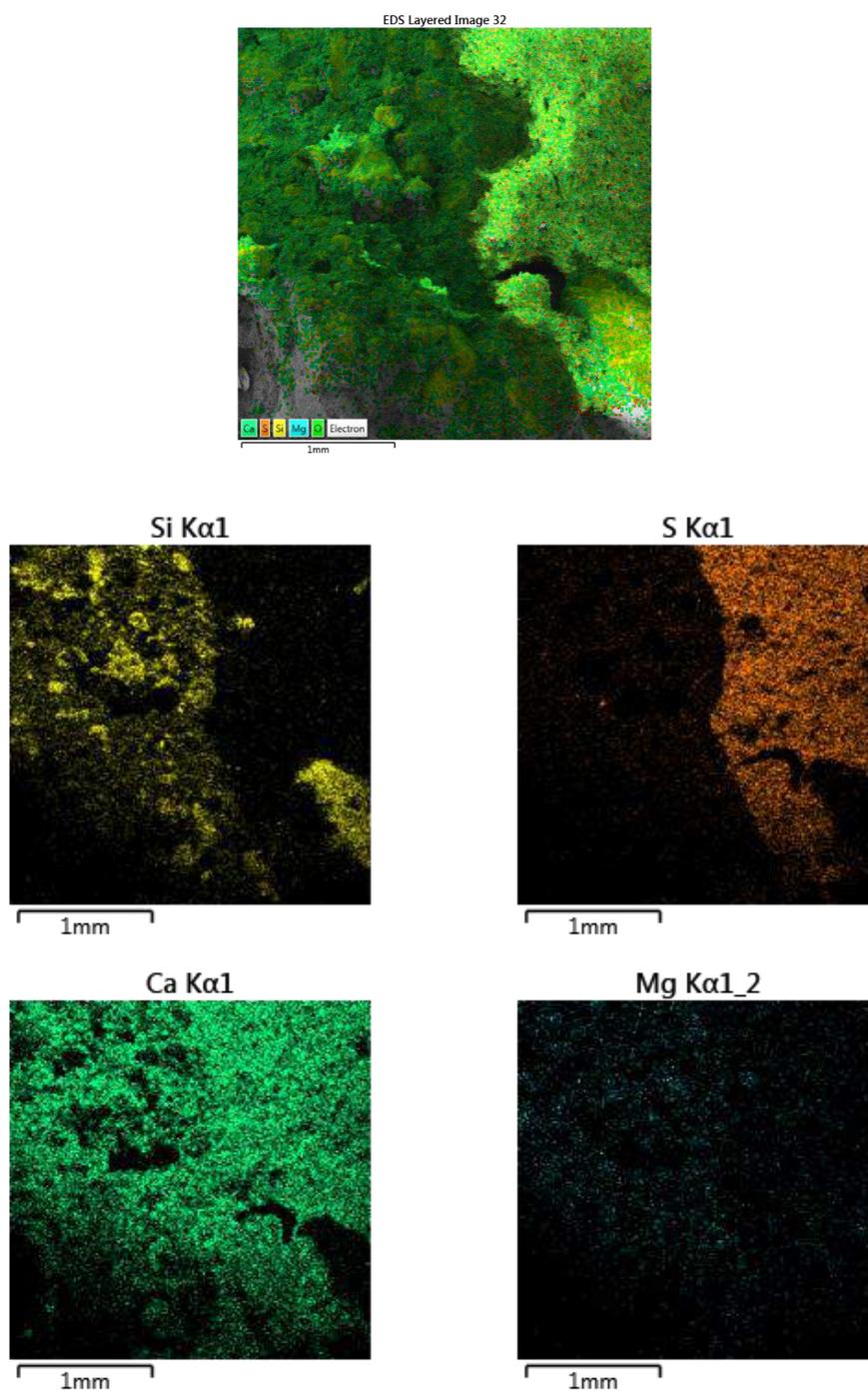
Fe K $\alpha$ 1

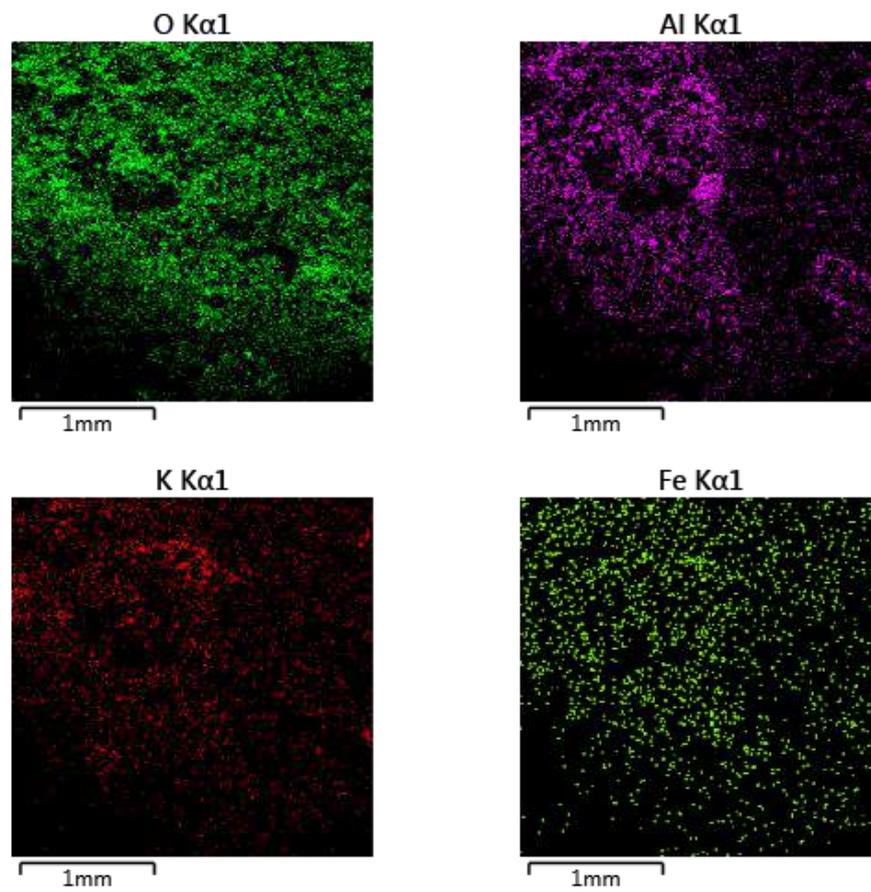
1mm

Na K $\alpha$ 1\_2

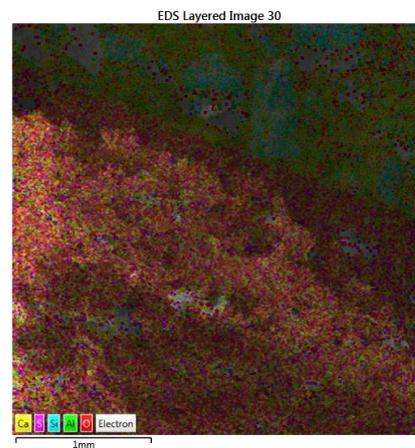
1mm

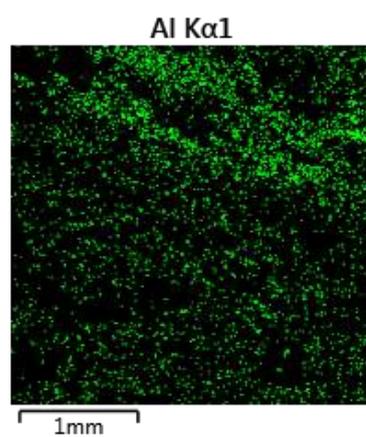
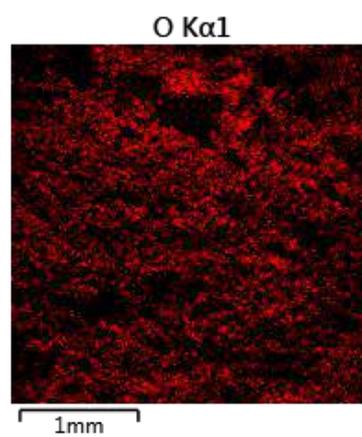
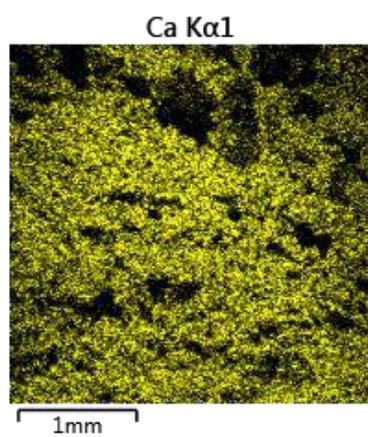
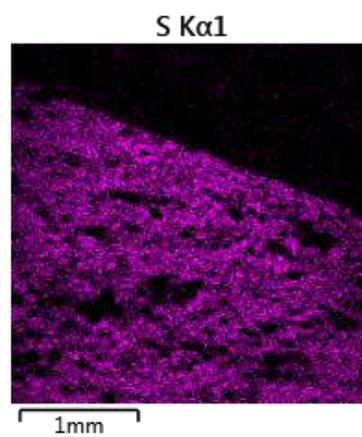
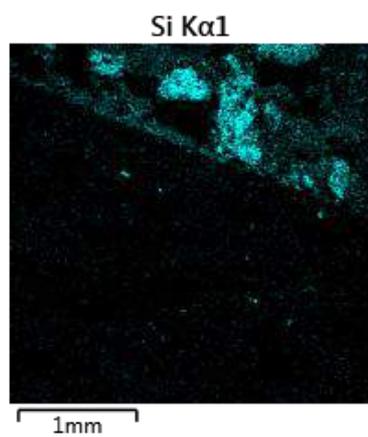
- Parede PC2-SEC- CHC-PGE0,8 - Interface do sistema de revestimento





- Parede PC2-SEC-CHG-PGE0,8 – Interface do sistema de revestimento

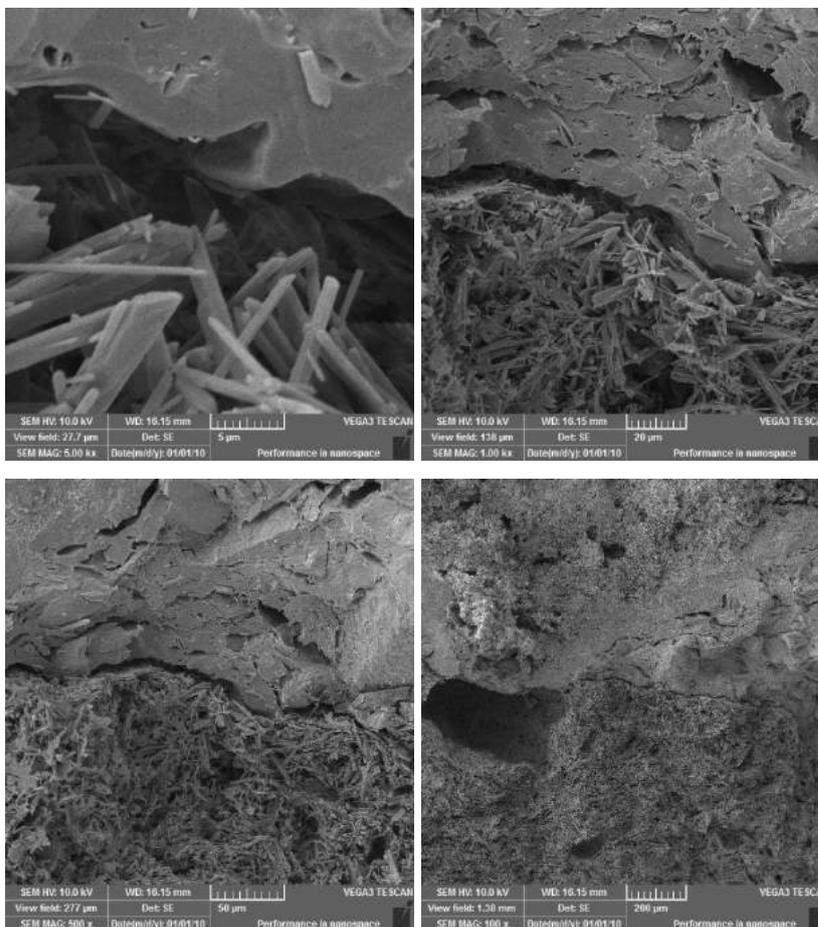




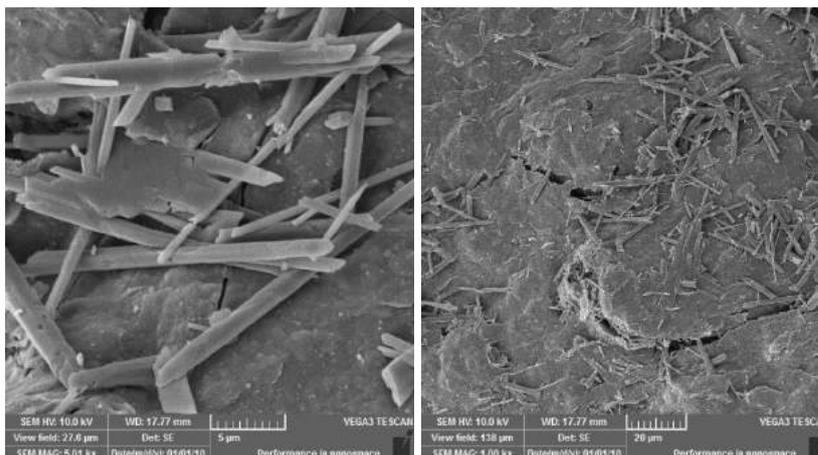
## APÊNDICE K – MICROGRAFIAS DAS AMOSTRAS DOS SISTEMAS DE REVESTIMENTO À BASE DE GESSO

Neste apêndice, são apresentadas outras micrografias dos sistemas de revestimento em pasta de gesso analisados por MEV, que não foram apresentados no Capítulo 4.

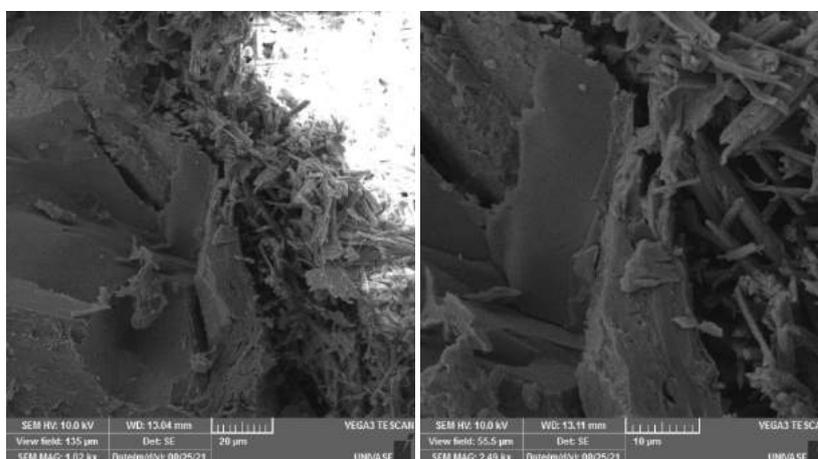
- Parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 – interface



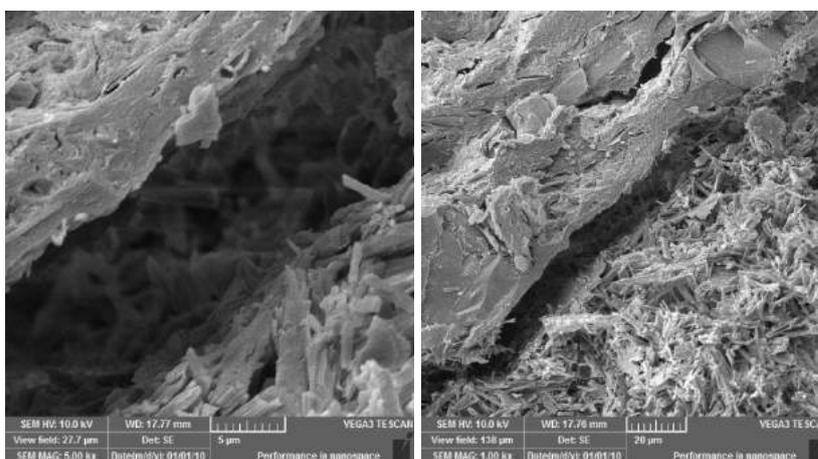
- Parede BCE-U1,0-SCH-PGE0,8 – superfície de fratura do bloco

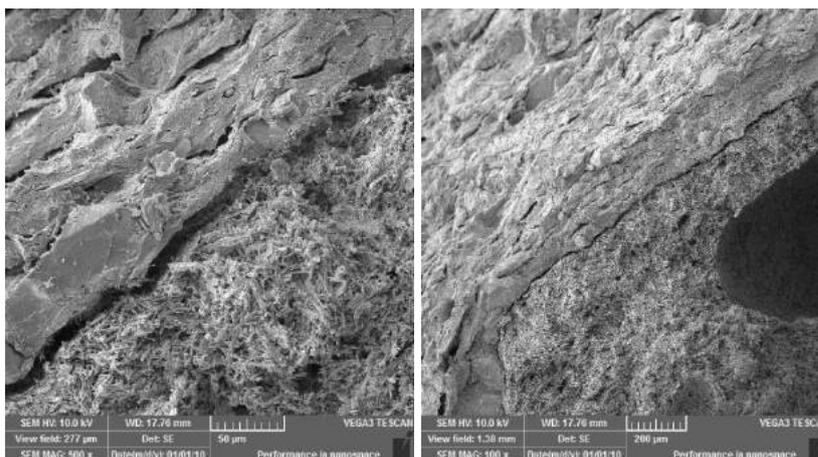


- Parede BCE-U0,5 - SCH-PGE0,8 – interface

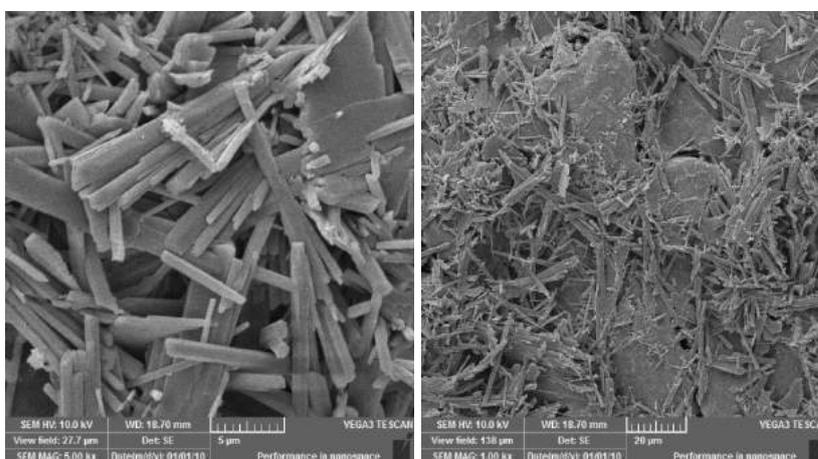


- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 – interface

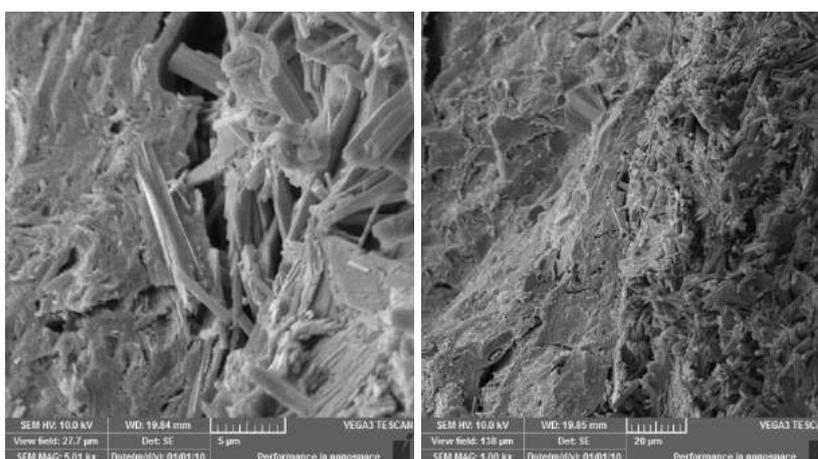


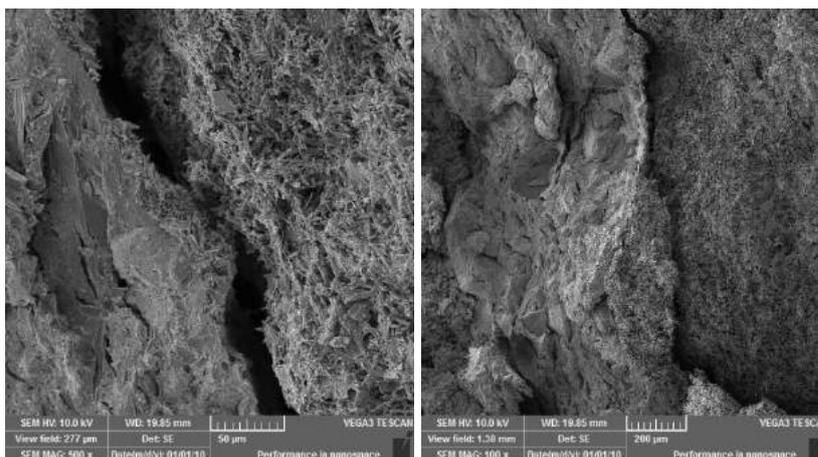


- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,8 – superfície de fratura do bloco

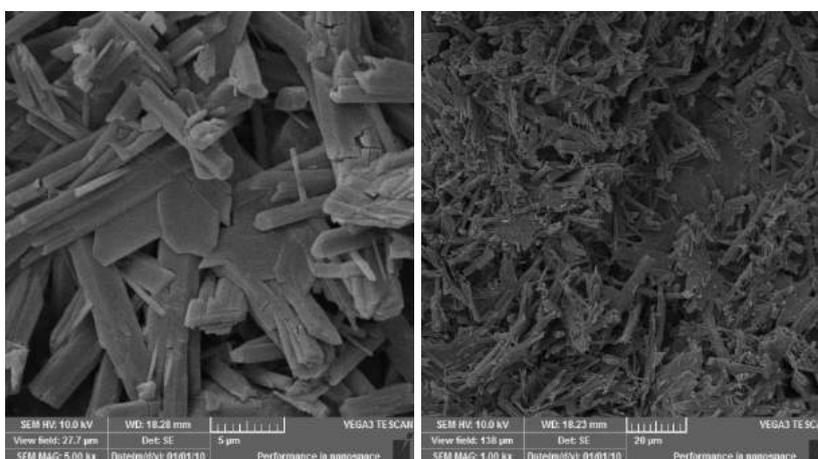


- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 – interface

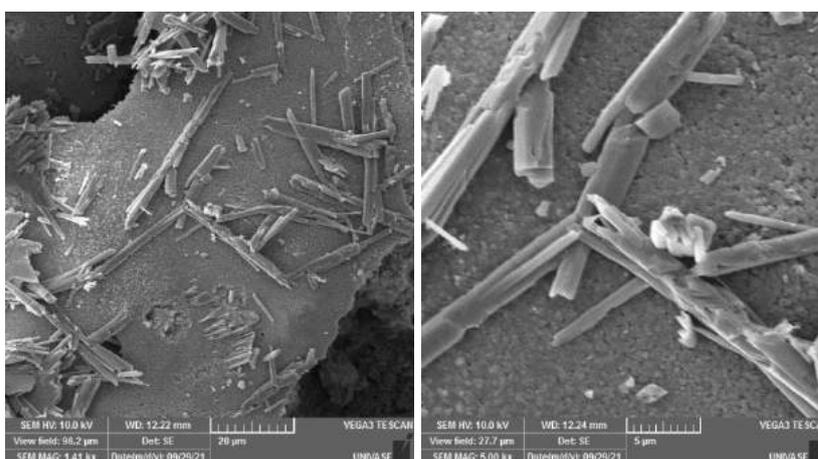




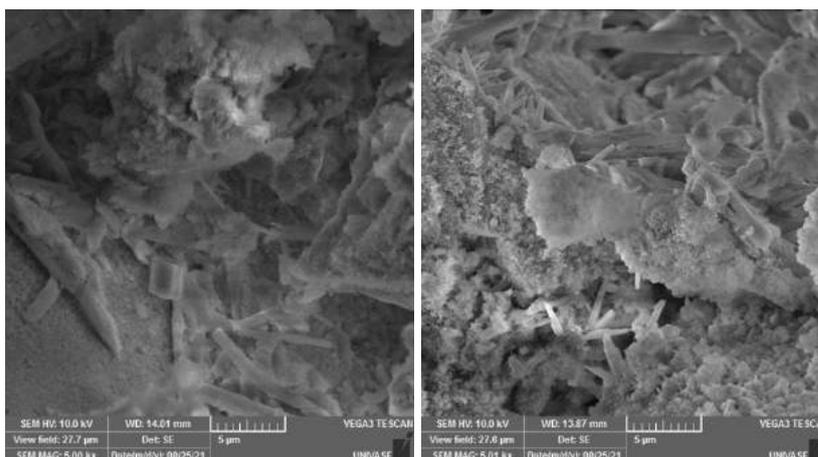
- Parede BCE-SEC-SCH-PGE0,6 – superfície de fratura do bloco



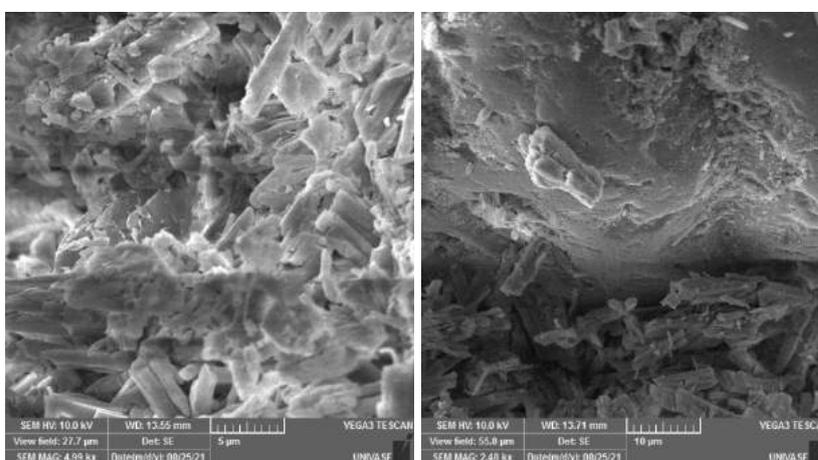
- Parede BCO-U1,0-SCH-PGE0,6 – superfície



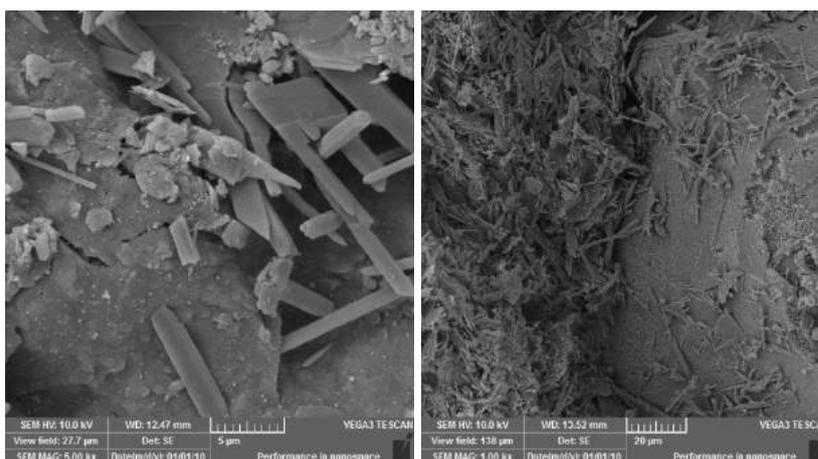
- Parede BCO-SEC-SCH-PGE0,6 – interface

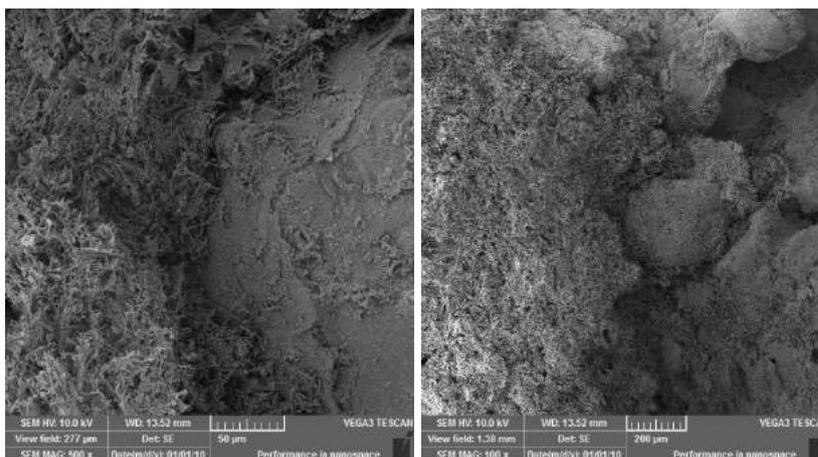


- Parede BCO-U0,5-SCH-PGE0,8 – interface

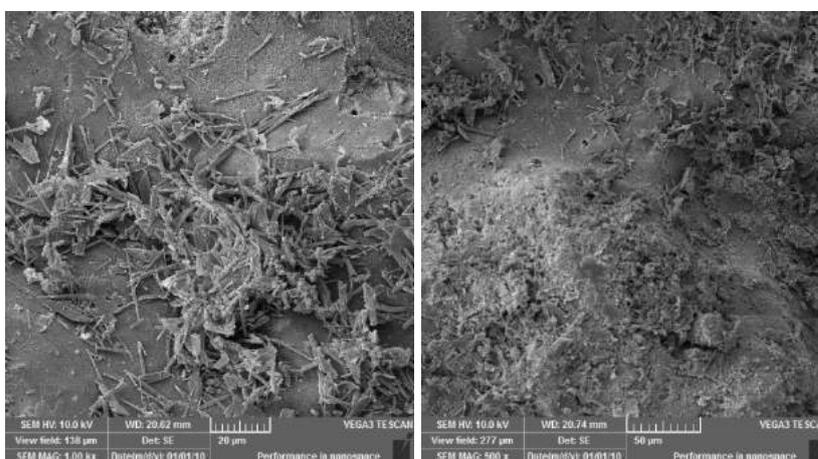


- Parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8 – interface

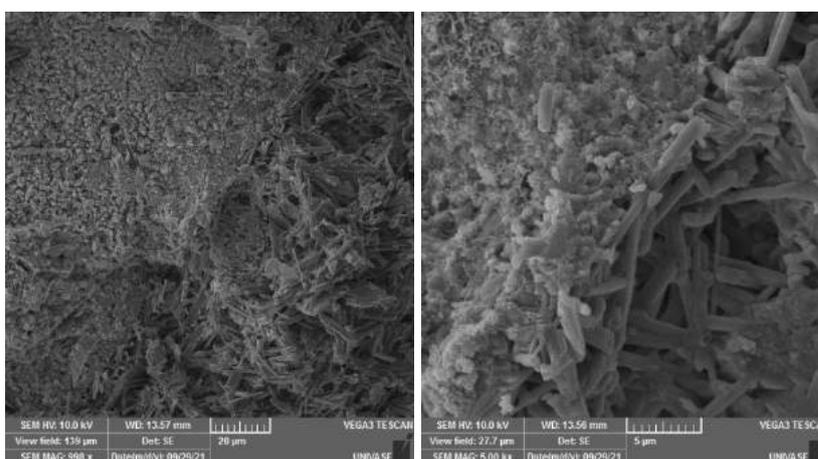




- Parede BCO-SEC-SCH-PGE0,8 – superfície de fratura do bloco



- Parede PC1-SEC-SCH-PGE0,8 – interface



- Parede PC2-SEC-CHC-PGE0,8 – interface

