

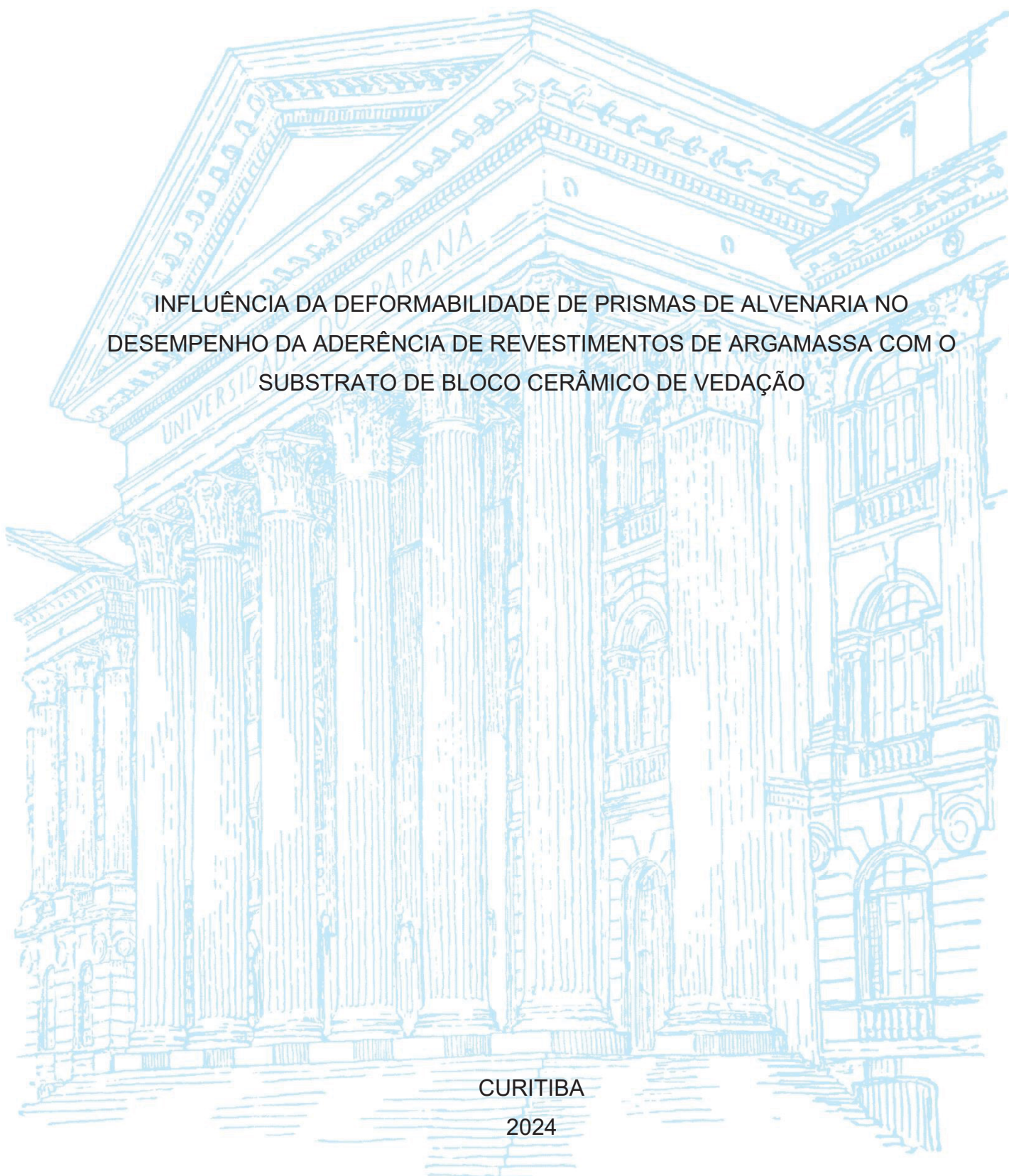
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAFAELLA SALVADOR PAULINO

INFLUÊNCIA DA DEFORMABILIDADE DE PRISMAS DE ALVENARIA NO
DESEMPENHO DA ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA COM O
SUBSTRATO DE BLOCO CERÂMICO DE VEDAÇÃO

CURITIBA

2024



RAFAELLA SALVADOR PAULINO

INFLUÊNCIA DA DEFORMABILIDADE DE PRISMAS DE ALVENARIA NO
DESEMPENHO DA ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA COM O
SUBSTRATO DE BLOCO CERÂMICO DE VEDAÇÃO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil, Setor de Tecnologia, da
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial à obtenção do título de Doutora em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marianne do Rocio de Mello
Maron da Costa

CURITIBA

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Paulino, Rafaella Salvador

Influência da deformabilidade de prismas de alvenaria no desempenho da aderência de revestimentos de argamassa com o substrato de bloco cerâmico de vedação. / Rafaella Salvador Paulino. – Curitiba, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marianne do Rocio de Mello Maron da Costa.

1. Alvenaria – Prisma. 2. Deformação. 3. Elasticidade. 4. Aderências. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Costa, Marianne do Rocio de Mello Maron da. IV. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA CIVIL -
40001016049P2

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA CIVIL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **RAFAELLA SALVADOR PAULINO** intitulada: **INFLUÊNCIA DA DEFORMABILIDADE DE PRISMAS DE ALVENARIA NO DESEMPENHO DA ADERÊNCIA DE REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA COM O SUBSTRATO DE BLOCO CERÂMICO DE VEDAÇÃO**, sob orientação da Profa. Dra. MARIENNE DO ROCIO DE MELLO MARON DA COSTA, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 02 de Agosto de 2024.

Assinatura Eletrônica

09/09/2024 17:45:26.0

MARIENNE DO ROCIO DE MELLO MARON DA COSTA

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

12/09/2024 23:35:39.0

ANGELA BORGES MASUERO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL)

Assinatura Eletrônica

10/09/2024 16:01:21.0

ELIANE BETÂNIA CARVALHO COSTA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA)

Assinatura Eletrônica

09/09/2024 15:03:01.0

LEONARDO FAGUNDES ROSEMBACK MIRANDA

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Aos meus pais,
Ana Maria e Jaime (*in memoriam*),
pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, a quem entrego a minha vida, por me conduzir com fé e esperança, e me fortalecer diante de todas as adversidades.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Marianne, por toda sabedoria, atenção, apoio, compreensão e orientação que tanto contribuíram para o desenvolvimento desta tese. Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), pelos ensinamentos. Aos membros da banca, Prof^a. Dr^a. Ângela, Prof^a. Dr^a. Eliane e Prof. Dr. Leonardo, pelas valiosas contribuições.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Guarapuava, por ter me permitido desenvolver o programa experimental nos laboratórios da instituição. Aos funcionários dos serviços gerais, por terem realizado o descarte dos resíduos e a limpeza dos laboratórios, e a todos os alunos que me auxiliaram durante as diversas etapas do programa experimental.

Ao Estrutural Lab, pelo empréstimo do equipamento para execução do ensaio de arrancamento; às empresas SuperMix e Concretize, pelo empréstimo das pastilhas; ao senhor José Carlos, pelo cuidado e atenção durante a execução dos prismas; e ao Elton Novak, por todo o trabalho de marcenaria envolvido na produção de moldes e suportes de madeira.

Aos meus pais, por terem priorizado meus estudos e me fornecido todas as condições para seguir em frente. Em especial, ao meu pai, Jaime Paulino (*in memoriam*), por ter me fortalecido mesmo em sua ausência física e estar junto de mim em todos os momentos. Sinto sua presença e não há um dia que não me lembre de você. À minha mãe, Ana Maria, por não ter me deixado desanimar e ser meu exemplo de força e perseverança.

Ao Diego Alexandre Vaz, por toda paciência, compreensão, contribuição e amor durante esta jornada. À tia Adenia, por todo seu cuidado, carinho, apoio e incentivo. Ao meu irmão Gustavo, por sempre estar ao meu lado e ao meu sobrinho Theo, por ter trazido tanta luz e alegria à minha vida.

A todos meus familiares, amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse até aqui, meu muito obrigada.

*"Entrega o teu caminho ao Senhor;
confia nele, e Ele tudo fará"*
(Salmos 37:5)

RESUMO

Os revestimentos de argamassa, ao serem submetidos às solicitações permanentes da alvenaria, decorrentes de deformações estruturais e oscilações higrotérmicas, devem ser capazes de absorver pequenas deformações sem fissurar, mantendo sua aderência ao substrato. Essa capacidade de desempenho do revestimento pode prevenir o surgimento de fissuras e garantir uma aderência adequada, evitando problemas que comprometam os aspectos estéticos, de conforto e estanqueidade da edificação. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi analisar a influência da deformabilidade de prismas de alvenaria no desempenho da aderência de revestimentos de argamassa com o substrato de bloco cerâmico de vedação, mediante aplicação de deslocamentos provenientes de cargas de compressão nos prismas. Os prismas foram construídos utilizando dois blocos cerâmicos com furos verticais e dimensões de (140×190×290) mm, os quais foram revestidos com três tipos de argamassas de revestimento: mista (AM) com traço de 1:1:6 em volume, industrializada (AI) e estabilizada (AU), utilizando chapisco industrializado rolado como ponte de aderência. Durante a produção dos prismas, as argamassas foram caracterizadas individualmente no estado fresco, e corpos de prova foram moldados para caracterização no estado endurecido posteriormente. Após o período de cura dos revestimentos, foram avaliados simultaneamente o módulo de deformação dos prismas e a resistência de aderência à tração das argamassas, considerando a aplicação de deslocamentos de 2 mm (d2), 3 mm (d3) e 4 mm (d4) sobre os prismas. Os resultados indicaram que a aplicação dos revestimentos de argamassa resultou em aumentos tanto na resistência à compressão dos prismas quanto no módulo de deformação dos mesmos, de maneira não proporcional. O revestimento de argamassa mista, devido à sua maior deformabilidade e resiliência, apresentou uma redução menos acentuada na resistência de aderência à tração com o aumento do módulo de deformação dos prismas. Em contrapartida, a argamassa industrializada, mais rígida e menos resiliente, registrou as maiores reduções na aderência no deslocamento d3, enquanto que a argamassa estabilizada mostrou impactos intermediários na aderência em d3, e superiores em d2 e em d4, em comparação às outras argamassas, com valores mais elevados em todas as condições avaliadas. Concluiu-se, portanto, que o aumento na rigidez dos prismas, associado ao módulo de deformação das argamassas de revestimento, impactaram na redução da resistência de aderência à tração dos revestimentos aplicados, especialmente para as argamassas com menor flexibilidade.

Palavras-chave: módulo de elasticidade, módulo de deformação, deformabilidade, aderência, prisma de alvenaria.

ABSTRACT

Mortar coatings, when subjected to the permanent stresses of masonry, resulting from structural deformations and hygrothermal fluctuations, must be able to absorb small deformations without cracking, while maintaining their adhesion to the substrate. This performance capability of the coating can prevent the emergence of cracks and ensure adequate adhesion, thereby avoiding issues that compromise the aesthetic, comfort, and waterproofing aspects of the building. In this context, the aim of this research was to analyze the influence of masonry prism deformability on the performance of mortar coating adhesion to ceramic block substrate, by applying compressive loads to the prisms. The prisms were constructed using two ceramic blocks with vertical perforations, measuring (140×190×290) mm, and were coated with three types of mortar coatings: mixed (MM) with a 1:1:6 volumetric ratio, industrialized (IM), and stabilized (SM), using rolled industrialized bonding mortar as adhesion bridge. During prism production, the mortars were individually characterized in the fresh state, and specimens were molded for characterization in the hardened state subsequently. After curing the coatings, both the prism deformation modulus and the potential tensile bond strength of the mortars were evaluated simultaneously, considering displacements of 2 mm (d2), 3 mm (d3), and 4 mm (d4) applied to the prisms. The results indicated that applying mortar coatings resulted in increases in both prism compressive strength and their deformation modulus, albeit not proportionally. The mixed mortar coating, due to its greater deformability and resilience, exhibited a less pronounced reduction in tensile bond strength as the deformation modulus of the prisms increased. In contrast, the industrialized mortar, being stiffer and less resilient, showed the most significant reductions in bond strength at displacement d3. The stabilized mortar demonstrated intermediate impacts on bond strength at d3, and higher impacts at d2 and d4 compared to the other mortars, with higher values across all evaluated conditions. It was concluded that the increase in the stiffness of the prisms, combined with the deformation modulus of the coating mortars, affected the reduction in tensile bond strength of the applied coatings, especially for mortars with lower flexibility.

Keywords: modulus of elasticity, deformation modulus, deformability, adhesion, masonry prism.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Manifestações patológicas na interface alvenaria-estrutura	34
FIGURA 2 – Modo de ruptura típico em paredes de alvenaria	37
FIGURA 3 – Configuração dos artigos aderentes	45
FIGURA 4 – Padrões de danos	46
FIGURA 5 – Distribuição em interfaces heterogêneas e homogêneas: tensão normal (a); separação normal (b); tensão de cisalhamento (c) (fator de escala de 2000%).	47
FIGURA 6 – Evolução da ruptura de prismas de bloco cerâmico com revestimento de argamassa: convencional (a); reforçado com malha de aço (b); reforçado com conectores (c).....	48
FIGURA 7 – Modo de ruptura de paredes: vista geral (a); vista detalhada (b).....	49
FIGURA 8 – Ruptura dos prismas: de 2 e 3 blocos com um revestimento de argamassa de traço 1:2:9 (a, b); de 2 e 3 blocos com um revestimento de argamassa de traço 1:1:6 (d, c); de 2 e 3 blocos com um revestimento de argamassa reforçada com malha (e, f).....	50
FIGURA 9 – Revestimento com argamassa reforçada: (a) aplicação da segunda camada de argamassa; (b) aspecto final; (c) falha típica	51
FIGURA 10 – Determinação do módulo de elasticidade: dinâmico ultrassônico (a); dinâmico vibracional (b); estático em CP (50×100) mm (c) e em CP (40×40×160) mm (d).....	55
FIGURA 11 – Correlações entre módulo de elasticidade dinâmico e: resistência à compressão (a); módulo de elasticidade estático (b); resistência à tração na flexão (c); resistência de aderência (d)	60
FIGURA 12 – Pesquisas que fizeram o uso de chapisco como ponte de aderência das argamassas.....	67
FIGURA 13 – Fluxograma resumido do planejamento experimental	70
FIGURA 14 – Bloco cerâmico: representação das dimensões (a), armazenamento em ambiente de laboratório (b)	71
FIGURA 15 – Curva granulométrica da areia.....	75
FIGURA 16 – Fluxograma detalhado do programa experimental.....	78
FIGURA 17 – Ensaios realizados no bloco cerâmico: rugosidade (a) e resistência à compressão (b)	80
FIGURA 18 – Ensaio de índice de consistência: mesa e utensílios utilizados na execução (a); medição do espalhamento da argamassa (b).....	83
FIGURA 19 – Ensaio <i>squeeze-flow</i> : utensílios (a); amostra preparada no molde (b); início da execu(c)	84
FIGURA 20 – Ensaio <i>squeeze-flow</i> : execução sobre bloco cerâmico (a); execução sobre bloco cerâmico com chapisco (b)	84
FIGURA 21 – Gráfico típico obtido em um ensaio de <i>squeeze-flow</i>	85
FIGURA 22 – Execução do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico	88

FIGURA 23 – Execução do ensaio de módulo de elasticidade estático	89
FIGURA 24 – Execução de ensaios: resistência à tração na flexão (a) e resistência à compressão (b)	90
FIGURA 25 – Execução do ensaio de variação dimensional: molde vazio (a); molde com argamassa (b); execução do ensaio (c).....	91
FIGURA 26 – Etapas da produção dos prismas.....	91
FIGURA 27 – Representação de prismas de blocos cerâmicos: vista frontal (a); vista lateral (b); vista ortogonal (c) (unidade de medida em mm)	92
FIGURA 28 – Ambiente de laboratório previamente organizado.....	93
FIGURA 29 – Execução dos prismas de blocos cerâmicos: argamassa distribuída sobre o bloco (a); uso de gabarito de 10 mm para demarcação da espessura da argamassa (b); assentamento do bloco superior (c); nivelamento do prisma (d); acabamento (e); limpeza final (f)	94
FIGURA 30 – Prismas durante período de cura.....	95
FIGURA 31 – Execução do chapisco rolado: aplicação com rolo de textura (a, b); chapisco em processo de cura (c).....	96
FIGURA 32 – Representação de prismas de blocos cerâmicos em: vista lateral (a); vista ortogonal (b) (unidade de medida em mm)	97
FIGURA 33 – Execução do revestimento de argamassa: conferência do nível (a); conferência do alinhamento (b); aplicação da argamassa sobre a superfície (c); sarrafeamento da superfície (d); desempenamento da superfície (e); prismas finalizados com gabaritos removidos (f).....	98
FIGURA 34 – Execução do revestimento com argamassa mista: processo em andamento (a); prismas com revestimento finalizado (b).....	99
FIGURA 35 – Execução do revestimento com argamassa industrializada: processo em andamento (a); prismas com revestimento finalizado (b).....	99
FIGURA 36 – Execução do revestimento com argamassa estabilizada: processo em andamento (a); prismas com revestimento finalizado (b).....	99
FIGURA 37 – Etapas de produção dos prismas.....	100
FIGURA 38 – Ensaio de resistência à compressão: representação (a); sem aplicação de revestimento (b); com aplicação de revestimento (c)	101
FIGURA 39 – Representação da delimitação das áreas para corte e colagem das pastilhas metálicas nos prismas: vista frontal (a); vista ortogonal (b) (unidade de medida em mm)	105
FIGURA 40 – Preparo dos prismas para ensaio de aderência: gabarito utilizado para o corte do revestimento (a); perfuração do revestimento de argamassa com furadeira (b); prisma com áreas de corte delimitadas (c, d)	105
FIGURA 41 – Preparo dos prismas para ensaio de aderência: equipamentos, utensílios e materiais utilizados na realização do ensaio (a); pastilhas metálicas coladas sobre as áreas delimitadas (b).....	106
FIGURA 42 – Representação do posicionamento do prisma na máquina universal de ensaios EMIC: vista frontal (a); vista ortogonal (b).....	107

FIGURA 43 – Execução do ensaio de aderência com aplicação de deslocamento: prisma sobre suporte (a); prisma sobre a máquina universal de ensaios (b); ensaio em andamento (c)	108
FIGURA 44 – Módulo de elasticidade dinâmico e estático das argamassas	112
FIGURA 45 – Resultados de módulos de elasticidade estático e dinâmico	114
FIGURA 46 – Relações entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências: à tração na flexão (a) e à compressão (b).....	117
FIGURA 47 – Retração das argamassas	118
FIGURA 48 – Curvas tensão versus deformação para os prismas	122
FIGURA 49 – Tenacidade, resistência à compressão e módulo de deformação dos prismas.....	125
FIGURA 50 – Modo de ruptura do prisma sem revestimento: íntegro (a), início do esfacelamento da argamassa (b), fissuração e ruptura do bloco (c).....	127
FIGURA 51 – Modos de ruptura dos prismas com revestimento: argamassa mista (a), argamassa industrializada (b); argamassa estabilizada (c).....	128
FIGURA 52 – Resistência de aderência à tração das argamassas aplicadas a substrato cerâmicos aos 28 dias	131
FIGURA 53 – Curvas do ensaio <i>squeeze-flow</i> na velocidade de: 0,1 mm/s (a) e 3 mm/s (b).....	135
FIGURA 54 – Curvas no ensaio <i>squeeze-flow</i> sobre bloco cerâmico e chapisco (veloc. de 0,1 mm/s)	138
FIGURA 55 – Curvas no ensaio <i>squeeze-flow</i> sobre bloco cerâmico e chapisco (veloc. de 3 mm/s)	138
FIGURA 56 – Relações entre a aderência e a fase plástica das argamassas no <i>squeeze-flow</i> sobre base metálica: 0,1 mm/s (a) e 3 mm/s (b)	141
FIGURA 57 – Relações entre a aderência e a fase plástica das argamassas no <i>squeeze-flow</i> sobre bloco cerâmico: 0,1 mm/s (a) e 3 mm/s (b)	141
FIGURA 58 – Relações entre a aderência e a fase plástica das argamassas no <i>squeeze-flow</i> sobre chapisco: 0,1 mm/s (a) e 3 mm/s (b)	142
FIGURA 59 – Densidade de massa e coeficiente de capilaridade das argamassas	143
FIGURA 60 – Relações entre a resistência de aderência à tração e: densidade de massa (a) e coeficiente de capilaridade (b).....	145
FIGURA 61 – Resistências à compressão, à tração na flexão e de aderência à tração das argamassas	146
FIGURA 62 – Relações entre a resistência de aderência à tração e resistências: à tração na flexão (a) e à compressão (b).....	147
FIGURA 63 – Módulos de elasticidade dinâmico e estático e resistência de aderência à tração das argamassas	148
FIGURA 64 – Relações entre a resistência de aderência à tração e o módulo de elasticidade dinâmico	149
FIGURA 65 – Resistência de aderência à tração das argamassas.....	151

FIGURA 66 – Formas de ruptura dos corpos de prova dos prismas: prisma frontal (a, c); corpos de prova após ruptura (b, d)	154
FIGURA 67 – Relações entre resistência de aderência e: força atuante (a); força atuante/força máxima (b) para a argamassa mista	156
FIGURA 68 – Relações entre resistência de aderência e: força atuante (a); força atuante/força máxima (b) para a argamassa industrializada	156
FIGURA 69 – Relações entre resistência de aderência e: força atuante (a); força atuante/força máxima (b) para a argamassa estabilizada	157
FIGURA 70 – Percentuais de aplicação de cargas e reduções da aderência	157
FIGURA 71 – Relações entre resistência de aderência e: força (a) e força atuante/força máxima (b)	159
FIGURA 72 – Resistência de aderência à tração das argamassas e módulo de deformação dos prismas submetidos à deslocamentos	162
FIGURA 73 – Relação entre a resistência de aderência à tração das argamassas e o módulo de deformação dos prismas submetidos à deslocamentos	163
FIGURA 74 – Tenacidade dos prismas nos diferentes deslocamentos	167
FIGURA 75 – Prisma P-AM-d2 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)	220
FIGURA 76 – Prisma P-AM-d3 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)	221
FIGURA 77 – Prisma P-AM-d4 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)	221
FIGURA 78 – Prisma P-AI-d2 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d).....	221
FIGURA 79 – Prisma P-AI-d3 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d).....	222
FIGURA 80 – Prisma P-AI-d4 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d).....	222
FIGURA 81 – Prisma P-AU-d2 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)	222
FIGURA 82 – Prisma P-AU-d3 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)	223
FIGURA 83 – Prisma P-AU-d4 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)	223
FIGURA 84 – Etapas do <i>Methodi Ordinatio</i>	230

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Pesquisas utilizando prismas, paredes ou paredinhas	39
QUADRO 2 – Pesquisas utilizando paredes e paredinhas	42
QUADRO 3 – Estudos experimentais que apresentaram relações entre as propriedades mecânicas das argamassas	58
QUADRO 4 – Estudos experimentais que apresentaram relações entre as propriedades mecânicas das argamassas	59
QUADRO 5 – Fatores intervenientes na aderência.....	62
QUADRO 6 – Propriedades da argamassa para chapisco rolado.....	72
QUADRO 7 – Nomenclatura das argamassas	76
QUADRO 8 – Consumo de materiais para produção da argamassa mista.....	81
QUADRO 9 – Consumo de materiais para produção das argamassas industrializadas	82
QUADRO 10 – Ensaio no estado fresco das argamassas	82
QUADRO 11 – Ensaio no estado endurecido das argamassas	86
QUADRO 12 – Condições de ensaio	103
QUADRO 13 – Nomenclatura dos prismas mediante diferentes condições de ensaio	104
QUADRO 14 – Eixos da revisão sistemática.....	231

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Classificação das argamassas quanto ao módulo de elasticidade dinâmico	57
TABELA 2 – Critérios para avaliação da susceptibilidade à fissuração das argamassas	58
TABELA 3 – Caracterização física e química do cimento CP II-F-32	73
TABELA 4 – Caracterização física e química da cal hidratada	74
TABELA 5 – Composição granulométrica da areia	75
TABELA 6 – Caracterização física da areia	75
TABELA 7 – Caracterização preliminar dos prismas	102
TABELA 8 – Características geométricas dos blocos cerâmicos	111
TABELA 9 – Teste t do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas industrializada e estabilizada	113
TABELA 10 – Classificação das argamassas quanto ao requisito de módulo de elasticidade dinâmico	114
TABELA 11 – Propriedades mecânicas das argamassas	115
TABELA 12 – Teste t das propriedades mecânicas das argamassas	116
TABELA 13 – Classificação das argamassas quanto ao requisito de resistência à tração na flexão	116
TABELA 14 – Avaliação da susceptibilidade à fissuração (SF) das argamassas de revestimento	117
TABELA 15 – Critérios para os requisitos de módulo de elasticidade dinâmico e de variação dimensional	120
TABELA 16 – Propriedades mecânicas dos prismas	123
TABELA 17 – Teste t da resistência à compressão dos prismas	124
TABELA 18 – Teste t do módulo de deformação dos prismas	124
TABELA 19 – Teste t da tenacidade dos prismas	126
TABELA 20 – Rugosidade das superfícies dos substratos	130
TABELA 21 – Resultados do teste t para aderência das argamassas	132
TABELA 22 – Índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas	133
TABELA 23 – Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco	134
TABELA 24 – Pontos de mudança de estágio das argamassas	136
TABELA 25 – Pontos de mudança de estágio das argamassas	139
TABELA 26 – Resistência de aderência à tração das argamassas sob deslocamentos	150
TABELA 27 – Teste t da aderência dos revestimentos de argamassa em diferentes deslocamentos	153

TABELA 28 – Percentuais de forma de ruptura dos corpos de prova de aderência	153
TABELA 29 – Força atuante nos deslocamentos e força máxima de ruptura	155
TABELA 30 – Módulo de deformação dos prismas sob deslocamentos	160
TABELA 31 – Teste t do módulo de deformação dos prismas revestidos em diferentes deslocamentos	161
TABELA 32 – Resiliência e tenacidade dos prismas nos deslocamentos	165
TABELA 33 – Artigos pesquisados divididos por base de dados	231
TABELA 34 – Artigos selecionados por eixo de pesquisa.....	233

LISTA DE TABELAS – APÊNDICES

TABELA A1 – Resultados individuais das dimensões efetivas dos blocos cerâmicos	196
TABELA A2 – Resultados individuais da espessura das paredes externas e septos, planeza das faces e desvio em relação ao esquadro dos blocos cerâmicos	196
TABELA A3 – Resultados individuais da área bruta dos blocos cerâmicos	197
TABELA A4 – Resultados individuais de resistência à compressão, resistência média e característica dos blocos cerâmicos.....	197
TABELA A5 – Resultados individuais do índice de absorção de água dos blocos cerâmicos.....	197
TABELA A6 – Resultados individuais de absorção de água inicial dos blocos cerâmicos.....	198
TABELA A7 – Resultados individuais de absorção de água inicial dos blocos cerâmicos com aplicação de chapisco	198
TABELA B1 – Resultados individuais de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas.....	199
TABELA B2 – Resultados individuais de resistência à tração na flexão das argamassas.....	199
TABELA B3 – Resultados individuais de resistência à compressão das argamassas	200
TABELA B4 – Resultados individuais de índice de consistência das argamassas	201
TABELA B5 – Resultados individuais de densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas	201
TABELA B6 – Pontos de mudança de estágio das argamassas em base metálica	202
TABELA B7 – Pontos de mudança de estágio das argamassas sobre bloco cerâmico e chapisco	202
TABELA B8 – Resultados individuais de densidade de massa das argamassas	202
TABELA B9 – Resultados individuais do coeficiente de capilaridade das argamassas	203
TABELA C1 – Resultados individuais de resistência à compressão dos prismas preliminares.....	204
TABELA C2 – Resultados individuais do módulo de deformação dos prismas preliminares.....	204
TABELA C3 – Resultados individuais da tenacidade dos prismas preliminares	205
TABELA C4 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AM-d0	205
TABELA C5 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AI-d0	206

TABELA C6 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AU-d0.....	207
TABELA C7 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AM-d2	208
TABELA C8 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AM-d3	209
TABELA C9 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AM-d4	211
TABELA C10 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AI-d2.....	212
TABELA C11 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AI-d3.....	213
TABELA C12 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AI-d4.....	215
TABELA C13 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AU-d2	216
TABELA C14 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AU-d3	217
TABELA C15 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AU-d4	219
TABELA C16 – Resultados individuais das forças atuantes nos prismas	223
TABELA C17 – Resultados individuais do módulo de deformação dos prismas.....	224
 TABELA D1 – ANOVA do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas	225
TABELA D2 – ANOVA das propriedades mecânicas das argamassas.....	225
TABELA D3 – ANOVA da rugosidade dos substratos.....	226
TABELA D4 – ANOVA das propriedades das argamassas no estado fresco	226
TABELA D5 – ANOVA das propriedades físicas das argamassas no estado endurecido.....	227
TABELA D6 – ANOVA da aderência para os diferentes revestimentos de argamassa	227
TABELA D7 – Teste t da aderência dos revestimentos de argamassa em diferentes deslocamentos	228
TABELA D8 – Teste t do módulo de deformação dos prismas em diferentes deslocamentos	229

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

a/c	Relação água/cimento
a/ms	Relação água/materiais secos
AA	Argamassa de assentamento
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AI	Argamassa industrializada
AM	Argamassa mista
ANOVA	Análise de variância
ARG _{rev}	Argamassa de revestimento
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AU	Argamassa estabilizada
BL _{cer}	Bloco cerâmico
BL _{conc}	Bloco de concreto
BS	<i>British Standards</i>
CV	Coeficiente de variação
CP	Corpo de prova
C-S-H	Silicato de Cálcio Hidratado
d0	Deslocamento de 0 mm
d2	Deslocamento de 2 mm
d3	Deslocamento de 3 mm
d4	Deslocamento de 4 mm
DE	Densidade de massa no estado endurecido
DF	Densidade de massa no estado fresco
DP	Desvio padrão
EN	<i>European Norm</i>
NBR	Norma Brasileira
TIJ _{cer}	Tijolo cerâmico
VUP	Vida útil de projeto

LISTA DE SÍMBOLOS

AA	Índice de absorção de água
AAI	Índice de absorção d'água inicial
$DE_{máx}$	Deslocamento elástico máximo
$DP_{máx}$	Deslocamento plástico máximo
E	Módulo elasticidade
E_d	Módulo de elasticidade dinâmico
E_s	Módulo de elasticidade estático
f_{bm}	Resistência média do bloco
f_{bk}	Resistência característica do bloco
$f_{bk,est}$	Resistência característica estimada
$FE_{máx}$	Força elástica máxima
F_d	Força aplicada no deslocamento “d”
$FP_{máx}$	Força plástica máxima
ε_i	Variação dimensional na idade “i”
Ra	Resistência de aderência à tração
R_c	Resistência à compressão
R_f	Resistência à tração na flexão
Rm	Valor médio de rugosidade
Rq	Valor mínimo de rugosidade
Rz	Valor máximo de rugosidade
Δ_D	Variação do deslocamento
Δ_F	Variação da força

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	24
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	25
1.2 OBJETIVOS	26
1.2.1 Objetivo geral	26
1.2.2 Objetivos específicos.....	26
1.3 JUSTIFICATIVAS	27
1.3.1 Justificativa tecnológica.....	27
1.3.2 Justificativas econômica e social.....	28
1.3.3 Justificativa ambiental	29
1.4 ESTRUTURA DA TESE	30
 2 DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA NA ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO	 32
2.1 COMPORTAMENTO DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO	32
2.1.1 Interação entre os elementos constituintes	33
2.1.2 Desempenho mecânico da alvenaria	35
2.1.3 Procedimentos experimentais em prismas de alvenaria	38
2.1.3.1 Metodologias experimentais adotadas em pesquisas	39
2.1.3.2 Metodologias experimentais em protótipos revestidos com argamassa.....	44
2.2 DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	52
2.2.1 Deformabilidade das argamassas de revestimento.....	53
2.2.1.1 Módulos de elasticidade estático e dinâmico.....	54
2.2.1.2 Relações entre as propriedades mecânicas das argamassas.....	56
2.2.2 Fatores intervenientes na aderência das argamassas de revestimento.....	61
2.2.2.1 Características e propriedades do substrato	62
2.2.2.2 Características das argamassas e seus materiais constituintes.....	64
2.2.2.3 Pontes de aderência do revestimento de argamassa ao substrato	67
 3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	 70
3.1 MATERIAIS	71
3.1.1 Blocos cerâmicos	71
3.1.2 Argamassa de assentamento	72
3.1.3 Argamassa de chapisco	72
3.1.4 Argamassas de revestimento	73

3.1.4.1 Argamassa mista	73
3.1.4.2 Argamassa industrializada	76
3.1.4.3 Argamassa estabilizada	76
3.2 MÉTODOS	77
3.2.1 Caracterização dos substratos	79
3.2.2 Produção das argamassas	81
3.2.3 Caracterização das argamassas no estado fresco	82
3.2.3.1 Índice de consistência	83
3.2.3.2 Comportamento reológico pelo método squeeze-flow	83
3.2.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido	86
3.2.4.1 Densidade de massa	87
3.2.4.2 Absorção de água por capilaridade	87
3.2.4.3 Módulo de elasticidade dinâmico	87
3.2.4.4 Módulo de elasticidade estático	88
3.2.4.5 Resistência à tração na flexão e à compressão	89
3.2.4.6 Variação dimensional	90
3.2.5 Produção dos prismas de blocos cerâmicos	91
3.2.5.1 Assentamento dos prismas de blocos cerâmicos	92
3.2.5.2 Aplicação do chapisco rolado	95
3.2.5.3 Aplicação do revestimento de argamassa	96
3.2.6 Determinação simultânea do módulo de deformação dos prismas e da resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa	100
3.2.6.1 Definição dos deslocamentos aplicados sobre os prismas	101
3.2.6.2 Nomenclatura e quantidade de exemplares de prismas	103
3.2.6.3 Preparo dos prismas	104
3.2.6.4 Execução do ensaio	107
3.2.7 Apresentação dos resultados e análise estatística	109
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	110
4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS BLOCOS E ARGAMASSAS E SUAS INFLUÊNCIAS NO DESEMPENHO DOS PRISMAS	110
4.1.1 Propriedades geométricas e mecânicas dos blocos cerâmicos	110
4.1.2 Deformabilidade das argamassas	111
4.1.2.1 Módulo de elasticidade dinâmico e estático das argamassas	112

4.1.2.2	<i>Módulo de elasticidade e as propriedades mecânicas das argamassas</i>	114
4.1.2.3	<i>Módulo de elasticidade dinâmico e a retração das argamassas</i>	118
4.1.3	Desempenho mecânico dos prismas	121
4.1.4	Modo de ruptura dos prismas	126
4.2	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA SOB ATUAÇÃO DE DESLOCAMENTOS NOS PRISMAS	129
4.2.1	Propriedades físicas dos substratos	129
4.2.2	Resistência de aderência à tração das argamassas	131
4.2.3	Propriedades no estado fresco das argamassas e sua influência no desempenho da aderência ao substrato	132
4.2.3.1	<i>Índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado</i>	133
4.2.3.2	<i>Comportamento reológico das argamassas pelo método squeeze-flow</i>	135
4.2.3.3	<i>Influência do substrato no desempenho reológico das argamassas</i>	137
4.2.3.4	<i>Influência da plasticidade das argamassas de revestimento no desempenho da aderência</i>	141
4.2.4	Propriedades no estado endurecido das argamassas e sua influência no desempenho da aderência ao substrato	143
4.2.4.1	<i>Densidade de massa e absorção de água por capilaridade</i>	143
4.2.4.2	<i>Resistências à tração na flexão e à compressão</i>	145
4.2.4.3	<i>Módulos de elasticidade</i>	147
4.2.5	Influência dos deslocamentos aplicados sobre os prismas na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa	149
4.3	INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DOS PRISMAS NO DESEMPENHO DA ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA	154
4.3.1	Impacto das forças atuantes sobre os prismas na aderência dos revestimentos de argamassa	155
4.3.2	Relação entre a resistência de aderência à tração das argamassas e o módulo de deformação dos prismas submetidos à deslocamentos	159
4.3.3	Resiliência e tenacidade dos prismas e suas relações com a aderência	165
5	CONCLUSÕES	169
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	170
	REFERÊNCIAS	172
	APÊNDICE A – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS BLOCOS CERÂMICOS	196

APÊNDICE B – RESULTADOS INDIVIDUAIS DAS ARGAMASSAS.....	199
APÊNDICE C – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS PRISMAS	204
APÊNDICE D – ANÁLISE ESTATÍSTICA	225
APÊNDICE E – REVISÃO SISTEMÁTICA	230

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da sua construção, um edifício está sujeito à atuação de esforços provenientes de deformações da estrutura e da alvenaria. A condição de carregamento de uma parede geralmente ocorre pela ação combinada de tensões intrínsecas às características físicas e mecânicas dos materiais constituintes da argamassa de revestimento, da estrutura da alvenaria e por fatores externos, atribuídos ao carregamento, da radiação solar e da temperatura, cuja manifestação pode ser por meio de movimentos reversíveis ou irreversíveis (Marques *et al.*, 2020; Mota, 2021).

Os esforços causados no edifício geram variações dimensionais entre os componentes do sistema da alvenaria, que quando restringidas, podem comprometer o revestimento (Bauer *et al.*, 2020; Mota, 2021). Portanto, o desempenho da parede de alvenaria depende não apenas de sua resistência mecânica, mas também da deformabilidade dos elementos constituintes, o que possibilita prever as deformações em regime elástico, através do módulo de elasticidade longitudinal (Marques *et al.*, 2020; Padalu; Sing, 2021). Uma investigação experimental detalhada da resistência e do módulo de elasticidade da alvenaria e seus elementos constituintes é normalmente necessária tanto na pesquisa quanto na aplicação prática de projeto/construção, pois fornece respostas importantes sobre o seu comportamento real (Nalon *et al.*, 2021).

Devido a estes fatores, mesmo com sua extensa utilização ao longo da história, é recorrente se observar anomalias nos revestimentos de argamassa, como fissuras e descolamento devido à falta de aderência entre as camadas constituintes do sistema de revestimento de um edifício. Isso contribui para a diminuição da vida útil da edificação (Nogueira *et al.*, 2018; Zanelato *et al.*, 2019; Bauer *et al.*, 2021; Carretero-Ayuso *et al.*, 2021). No entanto, de acordo com a norma de desempenho, NBR 15575-2 (ABNT, 2013), uma edificação habitacional durante sua vida útil de projeto, sob diversas condições de exposição (ação do peso próprio, sobrecargas de utilização, atuações do vento e outros), deve atender ao requisito de não repercutir em estados inaceitáveis de fissuração de vedação e acabamentos.

Assim, os revestimentos devem apresentar flexibilidade para absorver deformações estruturais e da alvenaria de tal modo a não comprometer a sua aderência ao seu substrato. Isso contribuiu para que o revestimento desempenhe suas funções de forma econômica e segura ao longo de sua vida útil (Flores-Colen *et*

al., 2009; Silva *et al.*, 2013; Farinha *et al.*, 2021). A discussão sobre a durabilidade e vida útil das edificações é um tema recorrente no meio técnico, refletindo a busca pela eficiência nos processos construtivos. Estes aspectos são importantes para garantir a segurança das estruturas e atender às demandas e exigências do mundo contemporâneo. É de suma importância empregar sistemas de revestimento que ofereçam uma envoltória protetiva eficaz, garantindo condições adequadas de habitabilidade, durabilidade, estanqueidade e conforto ao longo da vida útil do edifício (Jantsch *et al.*, 2021).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Nos sistemas de revestimento, as argamassas devem resistir aos esforços de tração na flexão para garantir a aderência ao substrato, além de apresentarem capacidade de deformação adequada diante das diversas ações de carregamento, como as provenientes das cargas das estruturas convencionais de concreto armado, variações nas paredes, ciclos térmicos ou retração própria. A capacidade das argamassas de se deformarem auxilia na distribuição dos esforços na alvenaria, já que o revestimento de argamassa pode absorver parcialmente esses esforços e dissipá-los por meio de microfissuras nas interfaces microscópicas entre os grãos do agregado e a pasta, ou através de fissuras capilares nas juntas, de forma praticamente imperceptível (Deniz; Erdogan, 2015; Baía; Sabbatini, 2016; Padalu; Singh, 2021).

No entanto, quando as argamassas não conseguem absorver essas deformações, podem surgir tensões internas na camada do revestimento. Isso geralmente ocorre em argamassas muito rígidas, ou seja, com elevado módulo de elasticidade. Tais argamassas tendem a concentrar os efeitos de deformações diferenciais em um pequeno número de fissuras com grandes aberturas, facilitando infiltrações de água que consequentemente, podem vir a comprometer a aderência do revestimento com o substrato (Souza, 2019; Bauer *et al.*, 2021). Portanto, ao contrário do concreto, uma alta resistência à compressão e um elevado módulo de elasticidade podem não ser propriedades benéficas para as argamassas e a compatibilidade das propriedades de todos os componentes da edificação, e não apenas o comportamento individual destes, é crucial para garantir o seu bom desempenho, proporcionando aos usuários confiabilidade e conforto (Lopes *et al.*, 2024).

A fissuração é uma das manifestações patológicas mais comuns observadas nos revestimentos de argamassa, afetando a qualidade e influenciando aspectos estéticos, de conforto e estanqueidade. A infiltração de água nas fissuras contribui para a perda de aderência do revestimento de argamassa com o substrato, podendo resultar no seu descolamento (Santos, 2018; Bauer *et al.*, 2021; Carretero-Ayuso *et al.*, 2021; Mota, 2021). Especialmente em fachadas externas, isso apresenta um risco potencial para os ocupantes da edificação e pedestres, além de um efeito estético indesejado. Adicionalmente, a permeabilidade à água nos locais afetados é intensificada, possibilitando o surgimento de outras manifestações patológicas, como mofo e bolor (Bauer *et al.*, 2020; Lopes *et al.*, 2024).

Para evitar a fissuração dos revestimentos e consequente comprometimento da aderência, as argamassas devem apresentar baixa retração e módulo de deformação simultaneamente à alta resistência à tração na flexão e aderência. No entanto, essa combinação de propriedades é, na maioria das vezes, difícil de ocorrer concomitantemente (Farinha *et al.*, 2021). Neste contexto, torna-se essencial investigar até que ponto as argamassas de revestimento podem se deformar mediante a atuação de deslocamentos impostos por cargas de compressão, sem comprometer sua aderência com o substrato.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a influência da deformabilidade de prismas de alvenaria no desempenho da aderência de revestimentos de argamassa com o substrato de bloco cerâmico de vedação, mediante aplicação de deslocamentos provenientes de cargas de compressão nos prismas.

1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos tem-se:

- estabelecer relações entre as propriedades físicas e mecânicas das argamassas e o desempenho da aderência na interface argamassa/bloco

cerâmico, em condição normal e mediante a aplicação de deslocamentos sobre prismas;

- identificar padrões de desempenho dos revestimentos em função das diferentes propriedades das argamassas mista, industrializada e estabilizada, aplicadas em prismas de alvenaria solicitados sob compressão;
- analisar o impacto da rigidez de prismas de alvenaria sob cargas de compressão no desempenho de revestimentos de argamassas em diferentes níveis de deslocamento.

1.3 JUSTIFICATIVAS

1.3.1 Justificativa tecnológica

O desempenho dos revestimentos é influenciado por vários fatores em serviço. As condições de preparação e aplicação de argamassas no substrato têm uma influência significativa no processo de endurecimento e nas características relevantes para seu desempenho. Além disso, a interação entre a argamassa aplicada e o substrato, por meio do mecanismo de aderência, também influencia o desempenho dos revestimentos (Starinieri *et al.*, 2015; Torres *et al.*, 2018; Válek; Skruzna, 2019).

Neste contexto, progressos têm sido realizados para contribuir com a compreensão do desempenho das argamassas de revestimento após sua aplicação sobre substratos, considerando fatores como método de aplicação (Silva *et al.*, 2013; Zanelatto *et al.*, 2013; Válek; Skruzna, 2019), tipo de argamassa (Rodrigues, 2004; Diogenes; Cabral, 2017), número ou espessura das camadas aplicadas (Zanelatto *et al.*, 2013; Starinieri *et al.*, 2015; Silveira *et al.*, 2021), características e propriedades do substrato (Scartezini *et al.*, 2002; Kazmierczak *et al.*, 2007; Starinieri *et al.*, 2015; Stolz *et al.*, 2016; Torres *et al.*, 2018), entre outros.

No entanto, ainda existem lacunas a serem complementadas, dado o escopo extenso do tema e a multiplicidade de fatores que influenciam nesse processo. O comportamento das argamassas aplicadas sobre substratos, influenciado por estes fatores, muitas vezes difere do observado em laboratório, onde amostras são padronizadas (Silveira *et al.*, 2021). Portanto, a busca por uma abordagem que simule condições mais próximas da realidade, por meio de ensaios de aderência realizados

em protótipos submetidos a ações externas (como deslocamentos causados por cargas de compressão), contribui para uma compreensão mais abrangente do comportamento do sistema. Essa abordagem leva em consideração os efeitos das propriedades dos materiais constituintes, de modo a promover uma maior durabilidade da alvenaria e auxiliar na mitigação de manifestações patológicas.

Aliado a isto, argamassas com novas formulações têm sido empregadas na construção civil com o objetivo de aprimorar a eficiência e acelerar o desenvolvimento construtivo. Um exemplo são as argamassas industrializadas e estabilizadas, consideradas de segunda e terceira geração, respectivamente, uma vez que são fornecidas pré-misturadas e prontas para uso, com traço elaborado pelo fabricante (Trevisol Jr. *et al.*, 2015; Donadello *et al.*, 2020).

Devido ao seu processo industrializado, essas argamassas possuem um padrão de dosagem mais controlado, especialmente as estabilizadas fornecidas por centrais dosadoras (Ramos, 2017; Silva; Lordsleem Jr., 2021). Com isso, espera-se uma maior uniformidade e qualidade dos revestimentos, proporcionando acabamentos superiores e reduzindo o risco de manifestações patológicas (Campos *et al.*, 2013; Antoniazzi, 2019). Portanto, a análise do comportamento desses materiais é um foco importante de estudo, especialmente considerando a escassez de pesquisas científicas sobre o tema (Silva; Campiteli, 2008; Kebhard; Kazmierczak, 2017).

1.3.2 Justificativas econômica e social

Os revestimentos de argamassa, mesmo quando feitos com argamassa convencional - que possui normas e propriedades conhecidas - são alvos de diversas manifestações patológicas. Manchas, mofo, bolor, eflorescência e deslocamentos são exemplos típicos e perceptíveis em fachadas (Bauer *et al.*, 2021; Carretero-Ayuso *et al.*, 2021; Ertemir; Edis, 2022). Revestimentos de argamassas industrializadas e estabilizadas, se não bem executadas, podem agravar este cenário. No caso das argamassas industrializadas, os processos de mistura e aplicação devem seguir o estabelecido pelo fabricante para não comprometer seu desempenho. Para as argamassas estabilizadas, o uso excessivo de aditivos e a falta de domínio das variáveis envolvidas no processo de fabricação e aplicação são considerados os

principais responsáveis pelos problemas associados a esse sistema (Antoniuzzi, 2019).

Quando as medidas corretas e necessárias não são tomadas, seja durante a execução ou ao longo do uso, o desempenho da edificação é afetado, levando ao não cumprimento dos requisitos mínimos, comprometendo sua vida útil (Hallberg, 2009). A vida útil de projeto (VUP) dos revestimentos de fachada deve ser no mínimo de 20 anos, segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2024). Em decorrência da ausência de manutenção preventiva e aplicação correta dos materiais de construção civil, a degradação de edifícios e seus componentes apresenta-se como um problema complexo (Silva *et al.*, 2014). No entanto, gastos com reparos, manutenções e demais intervenções apresentam-se como um fator significativo do ponto de vista econômico. A NBR 15575-1 (ABNT, 2024) considera que os custos de manutenção e/ou reparo de revestimentos de fachadas são elevados, sendo o custo de reposição dos revestimentos muito superior ao custo inicial.

Portanto, é essencial que os revestimentos de argamassa tenham uma aderência adequada ao seu substrato para cumprir suas funções de maneira econômica e segura ao longo de toda a sua vida útil, tais como impermeabilização, proteção da parede e estética. A perda de aderência do revestimento pode levar ao seu descolamento do substrato, o que, em paredes externas, pode criar situações perigosas para os pedestres. Além disso, sem o revestimento, a parede fica diretamente exposta à atmosfera, o que provavelmente acelera o seu processo de degradação (Silva *et al.*, 2013). Assim, o desempenho adequado dos revestimentos de argamassa ao longo de sua vida útil é de grande importância para garantir maior durabilidade. Essa prática não apenas reduz as manifestações patológicas, mas também proporciona maior conforto aos usuários, tornando-se significativa tanto do ponto de vista econômico quanto social.

1.3.3 Justificativa ambiental

Estima-se que 40% do consumo de cimento no Brasil seja relacionado a argamassas (Scrivener *et al.*, 2018). O cimento permanece como o material de construção mais consumido globalmente, com uma produção mundial estimada em 4,10 bilhões de toneladas em 2023 (U.S. Geological Survey, 2024), sendo que o Brasil contribuiu com mais de 45 milhões de toneladas (SNIC, 2024). A indústria cimenteira

é a terceira maior consumidora de energia, respondendo por 7% das emissões globais de CO₂ (*International Energy Agency*, 2018) e por cerca de 2,3% das emissões no Brasil (MCTIC, 2022). As emissões de CO₂ associadas ao cimento Portland são resultado do consumo de combustíveis fósseis, energia elétrica e da decomposição do calcário (Van Deventer *et al.*, 2012; Tamanna *et al.*, 2020).

Neste cenário, a produção e utilização de argamassas adequadas ao setor construtivo, aliado à uma aplicação correta e mais consciente, promoveria um melhor desempenho dos sistemas e com isso o surgimento de manifestações patológicas, principalmente relacionados aos revestimentos, foco deste estudo, seriam minimizados. Consequentemente, isso impactaria na redução do consumo de materiais e desta forma, contribuiria para um menor impacto ambiental (Tamanna *et al.*, 2020; Mohajerani *et al.*, 2020).

Nesse contexto, ocorreria uma redução na geração de resíduos da indústria da construção civil, que aliada ao seu posterior descarte, figura entre os principais problemas enfrentados pela gestão ambiental (López Ruiz *et al.*, 2019; Tamanna *et al.*, 2020). Na região Sul do Brasil, 73% dos resíduos de construção e demolição tipicamente recebidos nas usinas de reciclagem é o resíduo misto, composto pela mistura de materiais cimentícios diversos (concretos e argamassas) e cerâmica vermelha (ABRECON, 2020).

Em um projeto de engenharia, principalmente na fase de implementação do empreendimento, a argamassa é considerada um dos itens mais desperdiçados, influenciando a produtividade dos trabalhadores e o desperdício gerado. Dessa forma, reduzir desperdícios e tornar a aplicação dos revestimentos de argamassa mais consciente, por meio de maiores conhecimentos técnicos sobre o referido material resultaria na redução do impacto ambiental (Francis; Thomas, 2019; López Ruiz *et al.*, 2019).

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, cujos conteúdos abordados em cada um deles são apresentados de forma resumida, a seguir.

O capítulo 1 apresenta a introdução do tema, identificando o problema de pesquisa, apontando os objetivos geral e específicos e as justificativas do estudo, em termos tecnológico, econômico, social e ambiental.

O capítulo 2 aborda a fundamentação teórica do trabalho, discutindo questões relevantes ao tema, como o comportamento da alvenaria de vedação, os procedimentos experimentais realizados em protótipos de alvenaria utilizados em pesquisas, e o desempenho dos revestimentos de argamassa na alvenaria de vedação de blocos cerâmicos, com ênfase na deformabilidade e na aderência das argamassas.

No capítulo 3 é apresentado o planejamento experimental da pesquisa. Primeiramente foram descritos os materiais utilizados, incluindo blocos cerâmicos e argamassas de assentamento, chapisco e revestimento. Em seguida, métodos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa foram detalhados. Este item foi subdividido em sete etapas, com o objetivo de avaliar simultaneamente o comportamento de revestimentos de argamassas aplicados sobre prismas de blocos cerâmicos submetidos a deslocamentos provenientes de cargas de compressão. Essas etapas incluíram:

- Caracterização dos substratos;
- Produção das argamassas;
- Caracterização das argamassas no estado fresco;
- Caracterização das argamassas no estado endurecido;
- Produção dos prismas de blocos cerâmicos;
- Determinação simultânea do módulo de deformação dos prismas e da resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa;
- Apresentação dos resultados e análise estatística.

No capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões da pesquisa, divididos em três seções: i) propriedades mecânicas dos blocos e argamassas e suas influências no desempenho dos prismas; ii) resistência de aderência à tração das argamassas em condições normais e com a aplicação de deslocamentos sobre os prismas; iii) influência do comportamento dos prismas no desempenho da aderência dos revestimentos de argamassa.

O capítulo 5 traz as considerações finais da pesquisa e sugestões de trabalhos futuros. Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas e os apêndices utilizados para o desenvolvimento da pesquisa.

2 DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA NA ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS DE VEDAÇÃO

A alvenaria de blocos cerâmicos é amplamente utilizada na construção civil em muitos países devido às suas excelentes propriedades de isolamento térmico, fácil disponibilidade de materiais, boa solidez, durabilidade e baixo custo (Singh; Munjal, 2017). O desempenho da alvenaria sob compressão é fundamentalmente influenciado pela interação entre os blocos e a argamassa. Para analisar o comportamento da alvenaria, metodologias experimentais aplicadas em prismas de alvenaria têm sido empregadas com frequência (Souza *et al.*, 2018).

Nesse contexto, foi realizada uma revisão sistemática para destacar a originalidade desta pesquisa. A revisão envolveu a análise de artigos que tratam de procedimentos experimentais aplicados a prismas e paredes sem revestimento, bem como a uma menor quantidade de estudos experimentais sobre protótipos com revestimentos de argamassa (Oliveira *et al.*, 2018; Azevedo *et al.*, 2019; Torres *et al.*, 2021; De Sousa *et al.*, 2022). O objetivo dessa revisão foi fundamentar o desenvolvimento do programa experimental e aprofundar a compreensão sobre o comportamento dos revestimentos de argamassa aplicados sobre a alvenaria, com foco nas relações entre a deformabilidade dos materiais e a aderência.

2.1 COMPORTAMENTO DA ALVENARIA DE VEDAÇÃO

As alvenarias são projetadas para garantir a integridade física dos usuários e promover a habitabilidade das edificações. Além de serem rápidas, práticas e econômicas, as alvenarias são duráveis e asseguram uma compartimentação eficiente dos espaços (Sathiparan *et al.*, 2018; Javed *et al.*, 2024). Sua função principal é resistir às solicitações tanto do ambiente interno quanto do externo, garantindo estanqueidade, isolamento térmico e acústico, estabilidade mecânica, segurança contra fogo, estética e durabilidade (Fortes *et al.*, 2017).

Para que o projeto de alvenaria cumpra seus objetivos, é essencial que ele associe características e propriedades funcionais adequadas. Dentre essas características, destacam-se a deformabilidade e a resistência mecânica. A deformabilidade das alvenarias refere-se à capacidade de manter a integridade ao

longo do tempo, distribuindo as tensões internas de maneira uniforme, sem comprometer o desempenho.

2.1.1 Interação entre os elementos constituintes

Os elementos que compõem a alvenaria de vedação possuem características distintas, mas são interdependentes e interagem entre si. A resistência mecânica das paredes de alvenaria depende principalmente da resistência mecânica dos blocos, especialmente sob esforços de compressão. Quando ocorrem esforços de tração e cisalhamento, as juntas de argamassa, sejam verticais ou horizontais, também desempenham um papel crucial (Singh; Munjal, 2017).

Os blocos definem as principais características de desempenho da alvenaria e representam entre 85% e 95% do volume total da construção, além de estabelecerem a modulação e a coordenação dimensional. A argamassa de assentamento é o material utilizado para unir blocos ou tijolos, devendo ser capaz de transferir tensões uniformemente entre os blocos, compensando irregularidades e variações dimensionais. Além disso, a argamassa deve unir os blocos de forma sólida e auxiliar na resistência aos esforços laterais (Fortes *et al.*, 2017; Javed *et al.*, 2024).

As principais funções das juntas de argamassa em uma parede de alvenaria são: a) unir solidamente as unidades de alvenaria e ajudá-las a resistir aos esforços laterais; b) distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos; c) absorver as deformações naturais a que a alvenaria estiver sujeita; e d) selar as juntas contra a penetração de água da chuva (Fortes *et al.*, 2017; Sathiparan *et al.*, 2018).

No Brasil, as alvenarias de vedação são tradicionalmente fixadas à estrutura por meio de encunhamento, que, na maioria das vezes, é executado logo após a construção da parede com o próprio bloco de assentamento. Esse método pode resultar em um comportamento insatisfatório das paredes na acomodação das tensões, levando ao surgimento de patologias, como fissuras. Em ligações com estruturas muito deformáveis, especialmente no caso de paredes extensas e/ou enfraquecidas por aberturas, recomenda-se a utilização de uma junta composta por material deformável, finalizada com selante elastomérico ou mata-juntas (Costa; Franco, 1996; Florido *et al.*, 2024).

As paredes de alvenaria são extremamente rígidas para acompanhar as deformações da estrutura de concreto armado. O uso de peças estruturais operando sob tensões de serviço mais elevadas, sem um aumento correspondente no módulo de elasticidade dos materiais, tem tornado os elementos fletidos mais flexíveis, resultando em maiores deformações. As fissuras decorrentes dessas deformações ocorrem na interface entre a alvenaria e o elemento de concreto armado. Os componentes estruturais podem admitir flechas que não comprometem a estética, a estabilidade e a resistência da construção; contudo, essas flechas podem ser incompatíveis com a capacidade de deformação das paredes (Thomaz, 1989; Florido *et al.*, 2024).

No processo construtivo brasileiro de alvenaria de vedação, é fundamental prestar atenção à zona de transição de esforços entre a alvenaria e a estrutura de concreto. Essa interface é responsável por transmitir a deformação do elemento estrutural para a alvenaria, o que frequentemente resulta em fissuras e danos nessa região (FIGURA 1a). Esses problemas geralmente ocorrem devido ao esmagamento da alvenaria que foi rigidamente fixada à estrutura de concreto (FIGURA 1b).

FIGURA 1 – Manifestações patológicas na interface alvenaria-estrutura



FONTE: Lordsleem (2021)

Esse comportamento patológico, identificado por meio de observação visual, destaca a importância de compreender as interações entre os elementos estruturais para garantir a durabilidade e integridade das edificações (Lordsleem, 2021; Florido *et al.*, 2024).

2.1.2 Desempenho mecânico da alvenaria

A alvenaria é descrita como um elemento ortotrópico, inelástico e não homogêneo. Ela é considerada ortotrópica porque suas propriedades mecânicas não são uniformes em todas as direções, variando de acordo com a orientação dos blocos e da argamassa. A alvenaria é inelástica porque não se deforma de maneira proporcional às tensões aplicadas; após atingir um certo nível de carga, pode sofrer deformações permanentes. Isso significa que a estrutura pode não retornar à sua forma original quando a carga é removida, diferentemente dos materiais elásticos. Por fim, a alvenaria é não homogênea porque é composta por materiais diferentes (blocos e argamassa), que possuem propriedades distintas ao longo de sua extensão. Dessa forma, a estrutura pode apresentar variações nas propriedades mecânicas devido à combinação desses materiais (Singh; Munjal, 2017).

O desempenho da alvenaria depende de vários fatores, tais como: resistência da argamassa; resistência da unidade; relação relativa entre a resistência da argamassa e da unidade; relação entre a altura da unidade e a menor dimensão horizontal da unidade; orientação da unidade em relação à direção da aplicação da carga; e a espessura da junta de argamassa. O grande número de fatores, individualmente e combinados, indica, portanto, a complexidade de se fazer uma avaliação precisa da resistência da alvenaria (Parsekian *et al.*, 2012; Fortes *et al.*, 2017).

Esses fatores influenciam o comportamento e a resistência das alvenarias, tornando-as adequadas para diversas aplicações, mas também desafiadoras em relação ao seu desempenho sob diferentes condições de carga e ambiente (Singh; Munjal, 2017). Portanto, o projeto em alvenaria requer um entendimento claro do comportamento dos elementos constituintes, pois a combinação de materiais com diferentes características pode alterar significativamente o comportamento do sistema (Fortes *et al.*, 2017).

A argamassa e as unidades (blocos ou tijolos) apresentam deformações laterais diferentes devido aos seus diferentes coeficientes de Poisson sob carga axial de compressão, o que gera uma tensão de cisalhamento correspondente na interface entre a unidade e a argamassa. Desse modo, a alvenaria encontra-se em um estado complexo de tensões de compressão, tração e cisalhamento. No entanto, os tijolos, blocos e argamassa que constituem a alvenaria são materiais frágeis, com

propriedades de resistência à tração e ao cisalhamento deficientes (Witzany *et al.*, 2016; Jing *et al.*, 2023).

Em relação às argamassas de assentamento, por exemplo, para que estas apresentem um comportamento adequado na alvenaria, é essencial que possua resiliência, que é a capacidade do material de se deformar sem romper e de retornar às suas dimensões iniciais após a remoção da carga (Raj *et al.*, 2020). Uma maior resiliência está associada a um módulo de elasticidade menor, o que permite que a argamassa suporte maiores movimentações sem causar danos à matriz (Donadello, 2020). Além de ser resiliente, a argamassa deve ter uma resistência menor do que a do bloco com o qual está sendo utilizada, para garantir um desempenho adequado da estrutura (Fortes *et al.*, 2017).

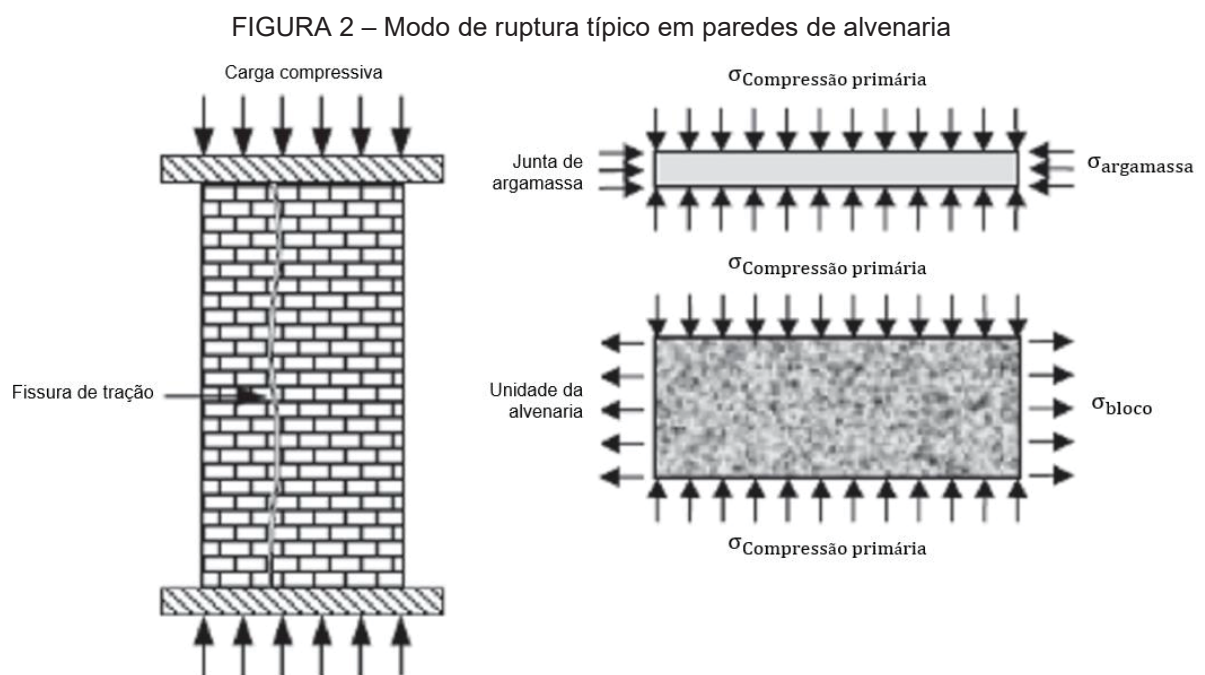
Na maioria das vezes, consideram-se apenas as propriedades mecânicas dos materiais, ignorando aspectos qualitativos, como o processo de construção e as variações na produção dos blocos. Além disso, parâmetros dimensionais têm um impacto significativo no processo de construção. Danos aos blocos podem ocorrer durante o empacotamento, transporte ou no canteiro de obras; espessuras menores das almas e paredes aumentam a probabilidade de danos, resultando em desperdício. Blocos deformados também exigem uma quantidade maior de argamassa para compensar as irregularidades, o que pode afetar o desempenho da alvenaria (Souza *et al.*, 2018).

A resistência à tração de uma estrutura de alvenaria é significativamente menor do que sua resistência à compressão devido à presença das juntas de argamassa. Portanto, a alvenaria não armada, amplamente utilizada, deve ser projetada para suportar principalmente cargas de compressão (Fortes *et al.*, 2017; Mahesh *et al.*, 2023). A alvenaria se comporta aproximadamente como um material linearmente elástico quando submetida a tensões muito baixas. No entanto, à medida que a estrutura se aproxima do ponto de falha, esse comportamento se torna cada vez mais não linear. Isso ocorre porque, uma vez que fissuras se desenvolvem, as tensões são redistribuídas através das áreas não fissuradas do material (Mahesh *et al.*, 2023).

A alvenaria sob compressão apresenta três modos principais de ruptura, dependendo da relação entre a resistência à compressão da argamassa e a do bloco (Fortes *et al.*, 2017):

- a) Quando a argamassa é muito fraca em comparação com o bloco, a capacidade da alvenaria é limitada pela resistência da argamassa, que geralmente falha por esmagamento;
- b) Quando a argamassa tem uma resistência moderada, a capacidade da alvenaria é determinada por uma combinação da resistência à compressão e à tração do bloco, que geralmente falha por tensão lateral;
- c) Quando a argamassa é mais forte que o bloco, a capacidade da alvenaria é limitada pela resistência à compressão do bloco.

O modo de falha da alvenaria em compressão é geralmente causado por uma fissura de tração que se propaga através dos blocos e da argamassa na direção da força aplicada, como mostrado na FIGURA 2.



FONTE: Adaptado de Fortes *et al.* (2017).

Esta fissura é causada por tensões de tração secundárias resultantes da deformação do bloco e da argamassa confinada nas juntas de alvenaria (Hendry *et al.*, 2004). As tensões de tração que induzem as fissuras se desenvolvem nas interfaces bloco-argamassa devido à deformação restrita da argamassa. Na maioria dos casos, a resistência da alvenaria é consideravelmente menor que a resistência do bloco, que, no entanto, é consideravelmente maior que a da argamassa. O aparente

aumento na resistência da argamassa deve-se ao estado de tensão biaxial ou triaxial imposto à argamassa quando carregada em conjunto com os blocos.

Pesquisas avançadas acerca de estruturas de alvenaria requer as relações da alvenaria com seus elementos constituintes (unidade e argamassas) e suas propriedades materiais, como características de tensão-deformação, módulo de elasticidade e resistência de aderência entre o tijolo e a argamassa. As propriedades mecânicas da alvenaria, como resistência à compressão, características de tensão-deformação, e as de seus elementos constituintes têm sido investigadas por pesquisadores ao longo dos anos. No entanto, a próxima seção discutirá uma revisão sistemática dos procedimentos experimentais mais recentes, com foco em protótipos revestidos com argamassas.

2.1.3 Procedimentos experimentais em prismas de alvenaria

Testes experimentais de elementos complexos de alvenaria enfrentam limitações em termos de custo, tempo, transporte de amostras, capacidade e tamanho das máquinas e equipamentos disponíveis, entre outros fatores (Sarhat; Sherwood, 2014). Por isso, prismas de alvenaria têm sido propostos como uma montagem simples de componentes da alvenaria, geralmente constituídos de 2 a 5 unidades de altura. Esses modelos são simplificados, fáceis de construir e testar, levando em consideração aspectos operacionais e econômicos. Eles podem oferecer uma representação mais próxima da realidade da alvenaria, considerando os efeitos das propriedades dos materiais constituintes e da qualidade do acabamento (Parsekian *et al.*, 2012; Thaickavil; Thomas, 2018; Nalon *et al.*, 2020).

Uma revisão sistemática da literatura foi desenvolvida com o intuito de identificar literaturas relevantes acerca de procedimentos experimentais executados com prismas de alvenaria e verificar as lacunas existentes quanto ao estudo do desempenho do sistema, principalmente no que tange as relações existentes entre o comportamento do revestimento de argamassa mediante condições de deformabilidade da alvenaria. A metodologia eleita foi o *Methodi Ordinatio*, proposta por Pagani *et al.* (2015) que seleciona e classifica trabalhos científicos de acordo com sua relevância na concepção de um portfólio bibliográfico, considerando três aspectos: fator de impacto, número de citações e ano de publicação. As etapas envolvidas na revisão sistemática estão apresentadas no Apêndice E.

2.1.3.1 Metodologias experimentais adotadas em pesquisas

Os artigos aderidos ao tema, conforme reportados pela revisão sistemática, demonstraram uma variedade de configurações dos protótipos utilizados em pesquisas. Estes protótipos variaram entre prismas de dois ou três blocos, pequenas paredes (paredinhas) ou paredes de maiores dimensões. Além disso, são constituídos por unidades (blocos ou tijolos) de diferentes materiais, geralmente de cerâmica ou de concreto, com diversos formatos e dimensões. O QUADRO 1 apresenta uma relação de pesquisas que utilizaram apenas prismas em seu programa experimental, bem como aquelas que os analisaram em conjunto com paredes. São detalhadas as dimensões das unidades e a configuração dos protótipos, e é fornecida a informação sobre o uso de revestimento de argamassa (ARG_{rev}) durante sua produção.

QUADRO 1 – Pesquisas utilizando prismas, paredes ou paredinhas

(continua)

Autoria	Artigo	Unidade (mm)	Protótipo	ARG _{rev}
Silva <i>et al.</i> (2011)	<i>Theoretical model for predicting the compressive strength of reinforced masonry</i>	BL _{conc} (140×190×290)	Prismas de 2 e 3 blocos e paredes	Não
Camacho <i>et al.</i> (2015)	<i>The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behavior</i>	BL _{conc}	Prismas de 3 blocos e paredes	Não
Soto Izquierdo <i>et al.</i> (2017)	<i>Sisal fiber reinforced hollow concrete blocks for structural applications: Testing and modeling</i>	BL _{conc} (390×140×390)	Prismas de 2 blocos e paredes	Não
Fortes <i>et al.</i> (2017)	<i>Compressive strength of masonry constructed with high strength concrete blocks</i>	BL _{conc} (3 tipos)	Prismas de 5 blocos e paredes	Não
Santos <i>et al.</i> (2017)	<i>Numerical and experimental evaluation of masonry prisms by finite element method</i>	BL _{conc} (150×190×290) (140×190×390)	Prismas de 2 e 3 blocos	Não
Baghi <i>et al.</i> (2018)	<i>Behavior of reinforced concrete frame with masonry infill wall subjected to vertical load</i>	BL _{cer}	Prismas de 3 blocos e paredes	Não
Oliveira <i>et al.</i> (2018)	<i>Structural performance of unreinforced masonry elements made with concrete and horizontally perforated ceramic blocks – Laboratory tests</i>	BL _{cer} (90×190×190) BL _{conc} (90×190×390)	Prismas de 3 blocos e paredes	Sim
Sathiparan <i>et al.</i> (2018)	<i>Effect of moisture condition on mechanical behavior of low strength brick masonry</i>	TIJ _{cer} (205×105×55)	Prismas de 4 tijolos	Não
Azevedo <i>et al.</i> (2019)	<i>Compression behaviour of clay bricks prisms, wallets and walls - Coating influence</i>	BL _{cer}	Prismas de 2 e 3 blocos e paredes	Sim

QUADRO 1 – Pesquisas utilizando prismas, paredes ou paredinhas

(conclusão)

Autoria	Artigo	Unidade (mm)	Protótipo	ARG _{rev}
Caldeira <i>et al.</i> (2020)	<i>Influence of joint thickness and strength of mortars on the compressive behavior of prisms made of normal and high-strength concrete blocks</i>	BL _{conc} (140×190×390)	Prismas de 2 blocos	Não
Cerqueira <i>et al.</i> (2020)	<i>Analysis of deformability modulus by linear and nonlinear elastic methods in ceramic structural masonry and mortars</i>	BL _{cer} (300×150×70)	Prismas de 2 e 3 tijolos	Não
Milani <i>et al.</i> (2021)	<i>Case study of prototype and small-scale model behavior of clay blocks masonry under compression</i>	BL _{cer} (140×190×290)	Prismas de 2 blocos e paredes	Não

Nota: ARG_{rev} (argamassa de revestimento); BL_{conc} (bloco de concreto), BL_{cer} (bloco cerâmico), TIJ_{cer} (tijolo cerâmico).

FONTE: A autora (2024).

Os artigos reportaram o uso de protótipos de alvenaria para realizações de análises com diferentes enfoques. De um modo geral, foi possível verificar que geralmente estes são submetidos à compressão, a fim de avaliar seu comportamento e correlacionar com as propriedades individuais dos materiais constituintes. Caldeira *et al.* (2020) investigaram a influência da espessura das juntas e da resistência à compressão de argamassas misturadas no local e pré-misturadas na resistência e rigidez de alvenarias e concluíram que os impactos da espessura das juntas são significativamente maiores em elementos construídos com unidades de alta resistência.

Milani *et al.* (2021) analisaram o fator de escala entre protótipos de componentes de alvenaria e modelos para prever as propriedades mecânicas da alvenaria de blocos cerâmicos sob compressão. Propriedades como a resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade dos blocos, prismas e paredes de alvenaria foram determinados durante os testes experimentais, além das deformações verticais e horizontais das paredes de alvenaria. Os autores concluíram que o modo de falha dos protótipos de alvenaria foi muito semelhante entre as escalas real e pequena, indicando que podem ser usados para representar o comportamento de resistência e deformação da alvenaria sob compressão. Sathirapan *et al.* (2018) avaliaram protótipos de alvenaria e verificaram que a resistência à compressão, ao cisalhamento e de aderência da alvenaria diminui em condições úmidas, e que a umidade afeta significativamente sua deterioração. Os

fatores influentes incluem o tipo de tijolo/bloco, a argamassa, a qualidade da construção e as condições ambientais.

Foram também realizados estudos comparativos entre o comportamento mecânico de protótipos de alvenaria e simulações numéricas, bem como com modelos teóricos na literatura. Solo Izquierdo *et al.* (2017) investigaram o comportamento mecânico de elementos de alvenaria com a realização de testes de compressão em blocos individuais, bem como em prismas e paredes. Modelos numéricos foram desenvolvidos para prever o comportamento não linear dos elementos. Santos *et al.* (2017) desenvolveram ensaios experimentais e modelos numéricos capazes de representar o comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto comuns e de alta resistência. Verificou-se que os valores obtidos numericamente de resistência à compressão e módulo de elasticidade diferem 5% em relação aos valores observados experimentalmente.

Silva *et al.* (2011) compararam modelos de previsão de resistência à compressão para prismas de alvenaria. Quatro configurações de prismas foram estudadas experimentalmente, registrando suas resistências à compressão, deformações e modos de ruptura. Cerqueira *et al.* (2020) avaliaram teorias de elasticidade aplicadas à alvenaria estrutural, incluindo modelos lineares e não lineares. Blocos cerâmicos e argamassas foram fabricados e testados individualmente e em prismas com e sem argamassa de assentamento. Os resultados da análise linear elástica mostraram um módulo de deformação maior para os prismas com argamassa do que para os sem argamassa.

Pesquisas nacionais sobre o comportamento da alvenaria estrutural de blocos de concreto foram relatadas. Embora não sejam o foco principal desta pesquisa, estas pesquisas apresentaram programas experimentais robustos e detalhados, contribuindo para definições de configuração de ensaios com prismas. Camacho *et al.* (2015) investigaram o comportamento estrutural, resistência à compressão axial e deformabilidade da alvenaria de bloco de concreto, variando a resistência dos blocos, graute e taxa de armadura. Os resultados permitiram avaliar a variação da resistência e os diagramas tensão-deformação da alvenaria, para melhorar o desempenho no projeto. Fortes *et al.* (2017) estudaram alvenaria estrutural de alta resistência, analisando resistência à compressão e módulo de deformação em paredes com diferentes configurações de assentamento, revelando a relação entre resistência à

compressão de unidades de alvenaria, prismas e paredes, incluindo análises de fissuração, modo de ruptura e curvas tensão-deformação.

O QUADRO 2 apresenta a relação de pesquisas que utilizaram apenas paredes em seus programas experimentais, juntamente com as informações sobre as dimensões das unidades, as configurações dos protótipos e o uso de revestimentos de argamassa (ARG_{rev}) durante sua produção.

QUADRO 2 – Pesquisas utilizando paredes e paredinhas

(continua)

Autores	Artigo	Unidade (mm)	Protótipo (mm)	ARG_{rev}
Lourenço <i>et al.</i> (2010)	<i>Vertically perforated clay brick masonry for loadbearing and non-loadbearing masonry walls</i>	BL _{cer.} (300×300×190)	5 fiadas (1200×1090)	Não
Ismail <i>et al.</i> (2012)	<i>In-situ and laboratory based out-of-plane testing of unreinforced clay brick masonry walls strengthened using near surface mounted twisted steel bars</i>	Cerâmica antiga	Dimensões variadas	Sim
Silva <i>et al.</i> (2013)	<i>Numerical analysis of renders' adhesion using an interface model</i>	-	-	Sim
Cabezas (2015)	<i>Mechanical properties of load bearing walls made of uruguayan hollow ceramic bricks</i>	BL _{cer.}	Dimensões variadas	Não
Martins <i>et al.</i> (2015)	<i>Experimental assessment of an innovative strengthening material for brick masonry infills</i>	BL _{cer.} (300×200×150)	(1500×620)	Sim
Jonaitis <i>et al.</i> (2017)	<i>Experimental investigation of the behaviour of brick lintels</i>	TIJ _{cer.}	Dimensões variadas	Não
Akhoundi <i>et al.</i> (2018)	<i>In-plane behavior of cavity masonry infills and strengthening with textile reinforced mortar</i>	TIJ _{cer.} (175×115×60) (175×115×80)	(4500×2700) (pilares e vigas)	Sim
Fathy <i>et al.</i> (2019)	<i>A numerical study of masonry cracks</i>	TIJ _{cer.}	-	Não
Socoloski; Masuero (2019)	<i>Evaluation of the efficiency of the treatment for rising damp on walls through the insertion of chemical barriers by gravity</i>	TIJ _{cer.}	8 fiadas de 3 tijolos	Não
Łukasz (2021)	<i>Study of impact of bed joint reinforcement on load-carrying capacity and crack resistance of masonry walls made of calcium silicate units</i>	Silicato de cálcio	(1660×1100) (1660×1000)	Não
Padalu; Singh (2021)	<i>Variation in compressive properties of Indian brick masonry and its assessment using empirical models</i>	TIJ _{cer.} (229×109×72)	7 fiadas (227×228×544)	Não
Torres <i>et al.</i> (2021)	<i>Textile reinforced mortars (TRM) for repairing and retrofitting masonry walls subjected to in-plane cyclic loads. An experimental approach</i>	TIJ _{cer.} (230×110×55)	(3000×2000)	Sim

QUADRO 2 – Pesquisas utilizando paredes e paredinhas

(conclusão)

Autores	Artigo	Unidade (mm)	Protótipo (mm)	ARG_{rev}
Medeiros <i>et al.</i> (2022)	<i>Numerical analysis of masonry walls with horizontal chases using the Lattice Discrete element method (LDEM)</i>	BL _{cer.} (140×190×290)	(1200×2600) (real)	Não
Garcia-Ramonda <i>et al.</i> (2022)	<i>Cyclic shear-compression testing of brick masonry walls repaired and retrofitted with basalt textile reinforced mortar</i>	TIJ _{cer.}	(1270×1270×310)	Sim
De Sousa <i>et al.</i> (2022)	<i>In-plane cyclic behaviour of RC frames strengthened with composite sandwich panels</i>	BL _{cer.}	(2740×1910) (pilares e vigas)	Sim
Donadello <i>et al.</i> (2023)	<i>Analysis of compressive strength of masonry of ceramic blocks placed with cementitious mortar and polymeric compound</i>	BL _{cer.} (140×190×290)	(1450×2400)	Não

Nota: BL_{cer} (bloco cerâmico), TIJ_{cer} (tijolo cerâmico).

FONTE: A autora (2024).

As pesquisas reportaram o uso de paredes de alvenaria com diferentes configurações em termos de dimensões, número de fiadas, materiais constituintes, entre outras especificações, para realizações de análises com diferentes enfoques. Essas variações refletem características técnicas específicas dos métodos construtivos usados globalmente, influenciados por cultura, história e perfil da mão de obra local. Por isso, os procedimentos experimentais frequentemente adaptam normativas técnicas para se adequarem às condições locais e responderem às questões de pesquisa estabelecidas.

Diversos materiais foram empregados nos estudos, como compostos poliméricos utilizados para o assentamento de unidades de alvenaria (Donadello, 2023) e alvenaria de tijolos de silicato de cálcio (Łukasz, 2021). Socoloski e Masuero (2019) investigaram o tratamento contra umidade ascendente em paredes, utilizando inserção cristalina por ação gravitacional em laboratório. Os autores observaram uma redução de até 67% na absorção de água, mas enfrentaram dificuldades na disseminação uniforme dos produtos nas paredes.

Padalu e Singh (2021) analisaram o comportamento tensão-deformação não linear e o módulo de deformação da alvenaria e de seus materiais constituintes. Concluíram que a resistência à compressão da alvenaria pode ser prevista com relações empíricas globais, mas o módulo de deformação requer métodos mais precisos. Cabezas (2015) investigou as propriedades mecânicas de paredes de

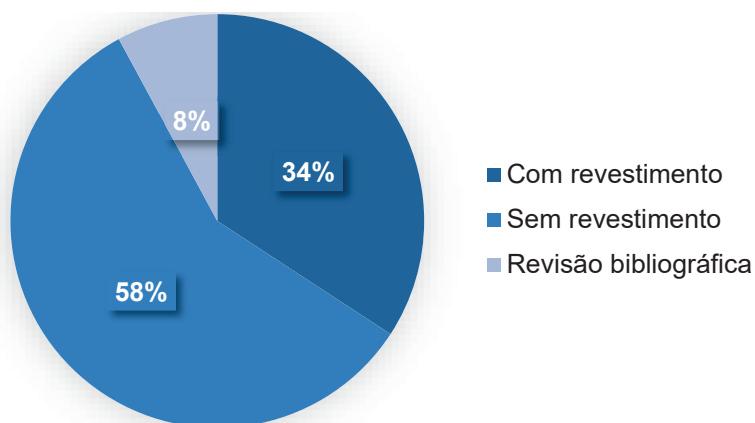
alvenaria de tijolos cerâmicos, destacando a forte correlação entre a resistência à compressão da alvenaria e dos tijolos. A aderência entre tijolos e argamassa mostrou-se crucial para a resistência à flexão e ao cisalhamento, embora não houvesse uma relação direta com a resistência à compressão dos tijolos.

Também foram reportadas pesquisas comparativas entre metodologias experimentais e modelagens numéricas. Fathy *et al.* (2019) observaram que paredes de tijolos cerâmicos sem revestimento são comuns em fachadas de edifícios na Espanha devido à sua boa aparência e resistência ambiental. No entanto, muitas dessas paredes apresentam rachaduras. Eles realizaram simulações por elementos finitos e concluíram que os resultados das simulações correspondem aos padrões observados de rachaduras. Medeiros *et al.* (2022) realizaram testes de compressão em paredes em pequena escala (1:5) com recortes de 20, 30 e 50% da espessura e os compararam com modelos numéricos, que se mostraram eficaz na previsão da resistência e dos mecanismos de falha dessas paredes.

2.1.3.2 Metodologias experimentais em protótipos revestidos com argamassa

A revisão sistemática revelou que os ensaios experimentais em prismas são amplamente utilizados em pesquisas sobre alvenaria. A maioria das configurações de prismas e paredes é realizada sem revestimentos de argamassa (Thaickavil; Thomas, 2018; Dehghan *et al.*, 2018; Thamboo; Dhanasekar, 2019; Jiao *et al.*, 2019; Murthi *et al.*, 2020a; Murthi *et al.*, 2020b; Nalon *et al.*, 2022). No entanto, embora em menor quantidade, também foram conduzidos procedimentos experimentais em protótipos com revestimentos de argamassa (Oliveira *et al.*, 2018; Soleymani *et al.*, 2022), assim como proposto no procedimento experimental desta pesquisa. A FIGURA 3 mostra os percentuais de pesquisas encontrados na revisão sistemática referente a esta especificação.

FIGURA 3 – Configuração dos artigos aderentes



FONTE: A autora (2024).

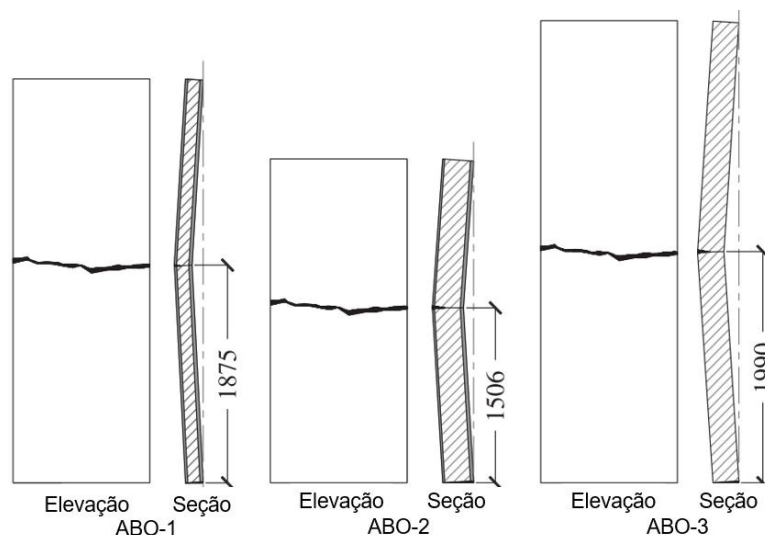
Os artigos que abordam a aplicação de revestimentos de argamassa serão explanados a seguir. A preocupação de muitos pesquisadores com o desempenho dos revestimentos de argamassa a longo prazo surge de diversas situações. Entre elas, destacam-se casos reais de falhas em revestimentos de fachadas de edificações que resultaram na morte de moradores, a vulnerabilidade das alvenarias de vedação em regiões sísmicas, levando a perdas humanas e altos custos de reparo, além da necessidade de mitigar manifestações patológicas que desvalorizam imóveis e afetam o conforto dos usuários.

Alguns artigos destacam a vulnerabilidade das alvenarias de vedação em estruturas de concreto armado durante terremotos em regiões sísmicas, resultando em perdas humanas e altos custos de reparo. Isso justifica a necessidade de estudos mais aprofundados, como os realizados por Martins *et al.* (2015), Akhoundi *et al.* (2018), Torres *et al.* (2021), Garcia-Ramonda *et al.* (2022) e De Sousa *et al.* (2022). As campanhas experimentais destas pesquisas geralmente envolvem testes cíclicos estáticos em paredes de alvenaria em escala reduzida para avaliar o desempenho de revestimentos de argamassa com diversos reforços, como têxteis (Akhoundi *et al.*, 2018; Torres *et al.*, 2021), malhas de compósito entrelaçadas (Martins *et al.*, 2015) e malhas de fibra de basalto (Garcia-Ramonda *et al.*, 2022).

Ismail e Ingham (2012) desenvolveram um procedimento experimental em que paredes foram submetidas à uma carga cíclica uniformemente distribuída. A FIGURA 4 mostra os padrões de danos observados ao término dos testes. As paredes construídas se comportaram linearmente até que uma única grande fissura se desenvolveu próxima à região central e, posteriormente, ocorreu uma deterioração

excessiva da argamassa no local da fissura. As fissuras estavam principalmente concentradas nas juntas de argamassa, exceto na parede ABO-2, onde a fissura se propagou através dos tijolos.

FIGURA 4 – Padrões de danos

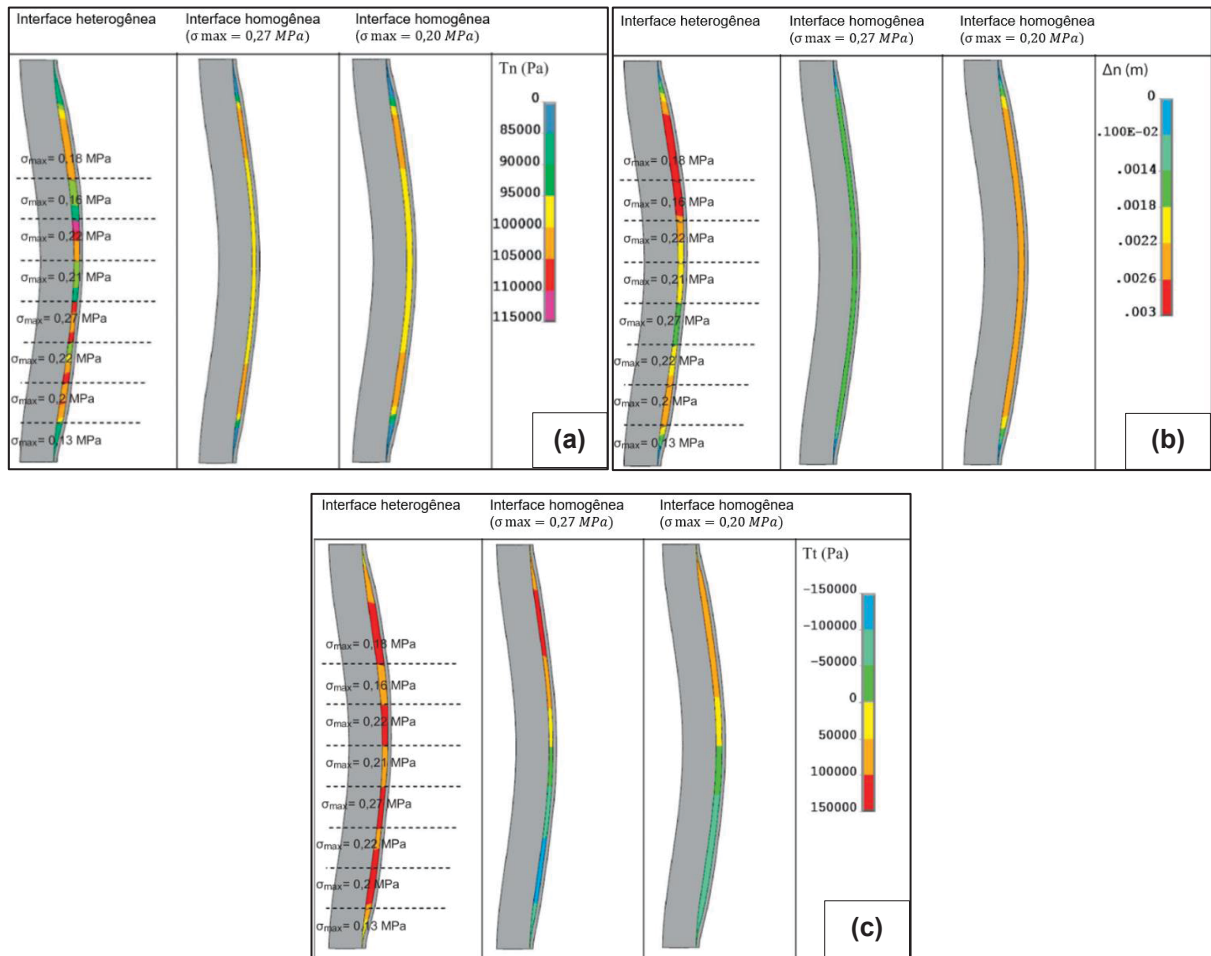


FONTE: Adaptado de Ismail e Ingham (2012).

A propagação da fissura através dos tijolos foi atribuída à presença do revestimento de argamassa à base de cimento na face de tração da parede e à resistência relativamente baixa dos tijolos. Após a aplicação adicional de carga lateral, as porções superior e inferior das paredes começaram a balançar em torno da localização da fissura até que o teste fosse interrompido (antes de atingir um deslocamento de instabilidade no ponto médio) (Ismail; Ingham, 2012).

Silva *et al.* (2013) desenvolveram um artigo que aborda a aderência de argamassas, que como já mencionado, trata-se de um mecanismo complexo afetado por diversos fatores em serviço. Foi realizada uma modelagem numérica para complementar os testes laboratoriais de aderência, na qual foi introduzida uma camada de interface com um modelo constitutivo de zona coesiva para simular a perda de aderência entre a argamassa e o substrato. Uma análise paramétrica foi realizada para estudar a sensibilidade dos parâmetros relevantes do modelo e são apresentados dois exemplos de aplicação (interface homogênea e heterogênea). Os resultados obtidos para tensão normal, separação normal e tensão de cisalhamento, estão apresentados na FIGURA 5a, FIGURA 5b e FIGURA 5c, respectivamente.

FIGURA 5 – Distribuição em interfaces heterogêneas e homogêneas: tensão normal (a); separação normal (b); tensão de cisalhamento (c) (fator de escala de 2000%).



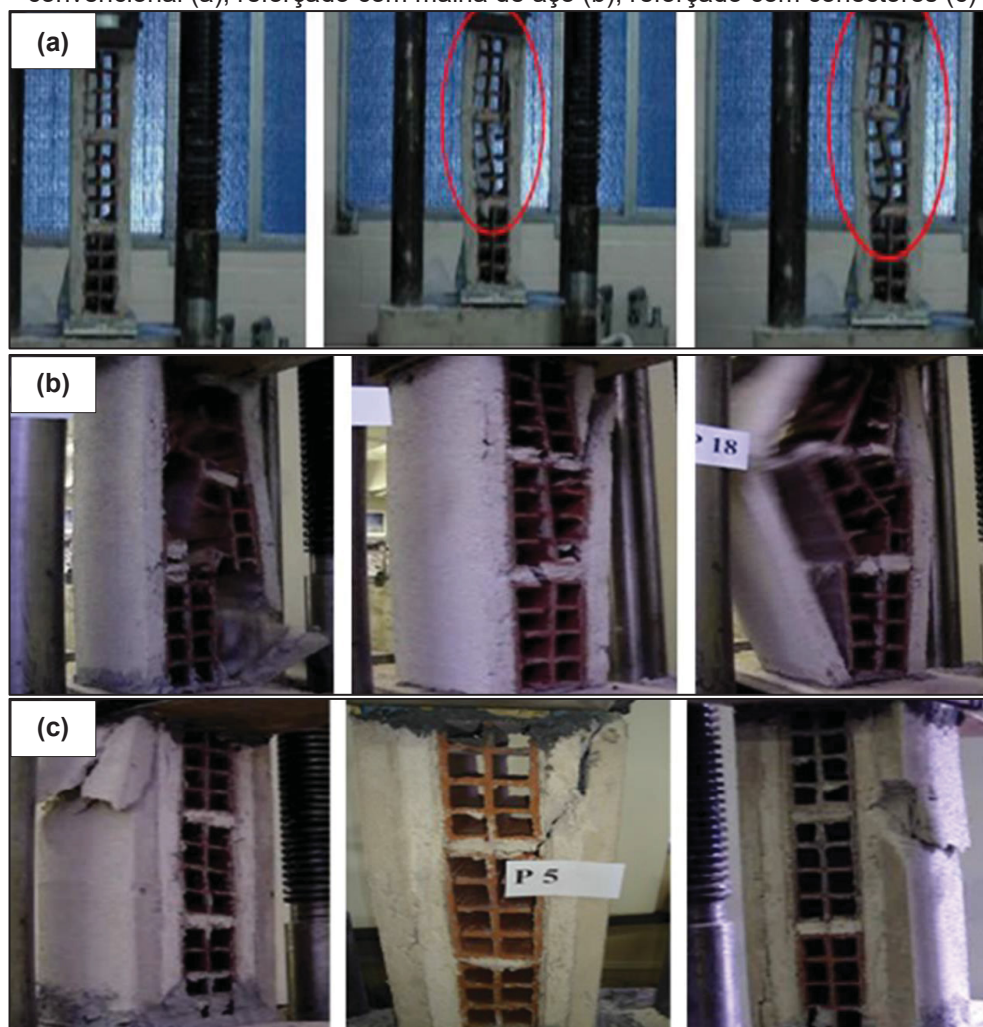
FONTE: Adaptado de Silva *et al.* (2013).

Como esperado, a presença de heterogeneidades levou à existência de picos de tensão normal, que sobrecarregam a interface e podem causar problemas locais de aderência. Esse comportamento também é visível em termos das separações da interface. Estes resultados confirmam que a projeção manual influencia o desenvolvimento da aderência da argamassa, uma vez que depende significativamente da ergonomia da mão de obra. Portanto, a projeção mecânica pode minimizar a presença de heterogeneidade na interface, melhorando a aderência entre o revestimento e o substrato (Silva *et al.*, 2013).

Oliveira *et al.* (2018) estudaram o comportamento de edifícios de alvenaria construídos em Pernambuco e sua relação com diversas falhas ocorridas, algumas das quais incluíram a morte de moradores. Os autores analisaram em profundidade, experimentalmente, o comportamento de tijolos simples, prismas e pequenas

paredes, que permitissem identificar e quantificar a influência das camadas de revestimentos de argamassa na capacidade de carga dos elementos ensaiados. A FIGURA 6 ilustra os modos de ruptura observados nos prismas de blocos cerâmicos testados.

FIGURA 6 – Evolução da ruptura de prismas de bloco cerâmico com revestimento de argamassa: convencional (a); reforçado com malha de aço (b); reforçado com conectores (c)



FONTE: Oliveira *et al.* (2018).

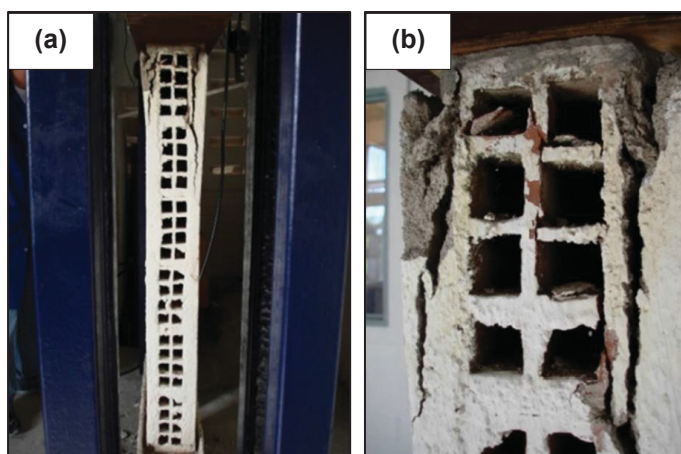
Observou-se a ocorrência de rupturas frágeis e explosivas, caracterizadas por uma perda imediata da capacidade de resistência do sistema logo após atingir a carga máxima. Para os prismas revestidos com argamassa, observou-se que o processo de fissuração se iniciou nos septos horizontais dos blocos e, a partir deste momento, as duas juntas de argamassa absorveram a carga. Os autores ressaltam, porém, que foram observados diversos tipos de ruptura, impossibilitando a escolha de uma que representasse o universo de prismas testados.

Vários fatores podem influenciar no processo de ruptura, tais como: a qualidade da mão de obra utilizada na construção dos corpos de prova, a espessura e uniformidade das juntas de argamassa, entre outros (Oliveira *et al.*, 2018). No entanto, os seguintes modos de ruptura podem ser destacados como mais frequentes (Mota, 2006): ruptura do revestimento de argamassa por deslocamento lateral excessivo das juntas de argamassa; ruptura por descolamento das camadas de revestimento; e ruptura por flambagem do revestimento de argamassa.

Houve um aumento significativo na capacidade de carga do prisma após o revestimento. A capacidade de carga do prisma revestido aumentou aproximadamente 33% em comparação com o prisma não revestido. Quando comparado com o prisma sem qualquer revestimento, o prisma revestido com argamassa apresentou um aumento médio na carga de ruptura de cerca de 130%. Este aumento é considerável, indicando uma melhoria significativa na capacidade de carga devido ao revestimento de argamassa.

O modo de falha mais comum observado nos corpos de prova ocorreu no septo dos blocos, perto do ponto de aplicação da carga, seguido por trincas na interface do revestimento de argamassa. A FIGURA 7 mostra os detalhes do modo de ruptura característico das paredes revestidas com argamassa.

FIGURA 7 – Modo de ruptura de paredes: vista geral (a); vista detalhada (b)



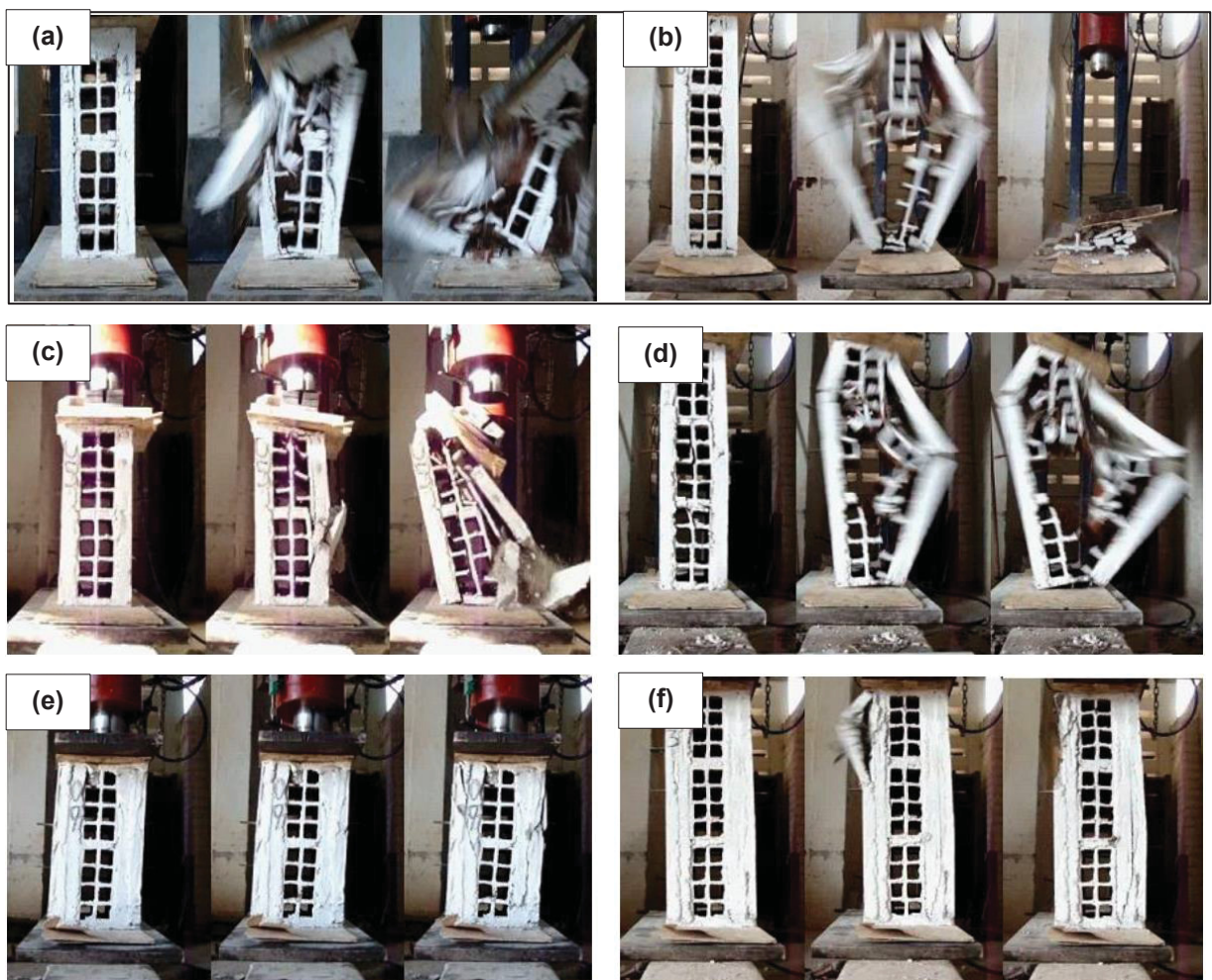
FONTE: Oliveira *et al.* (2018).

De acordo com os autores, este comportamento é devido ao estado de tensão triaxial ao qual a junta de argamassa de assentamento é submetida em consequência do seu confinamento entre os blocos. Este estado de tensão gera tensões de tração horizontal nos septos horizontais dos blocos, devido à adesão mobilizada entre as

juntas de argamassa. Assim, quando a tensão de tração ultrapassa a resistência à tração desses septos, eles trincam, distribuindo tal tensão para os demais septos e para o revestimento de argamassa que tende a trincar ou desprender-se, no caso de aderência insatisfatória, antes da ruptura das unidades e da parede.

Azevedo *et al.* (2019) realizaram um estudo experimental em 195 prismas, compostos por dois e três blocos cerâmicos, com e sem revestimento de argamassa de cimento e algumas amostras reforçadas com malha, submetidas à compressão axial. Os prismas foram submetidos a carga compressiva e todos eles tiveram controle de deformação em cada face com um deflectômetro (FIGURA 8). Os resultados experimentais indicaram um aumento na capacidade de carga compressiva tanto dos prismas revestidos com argamassa convencional quanto naqueles que utilizaram revestimentos de argamassa reforçada.

FIGURA 8 – Ruptura dos prismas: de 2 e 3 blocos com um revestimento de argamassa de traço 1:2:9 (a, b); de 2 e 3 blocos com um revestimento de argamassa de traço 1:1:6 (d, c); de 2 e 3 blocos com um revestimento de argamassa reforçada com malha (e, f)

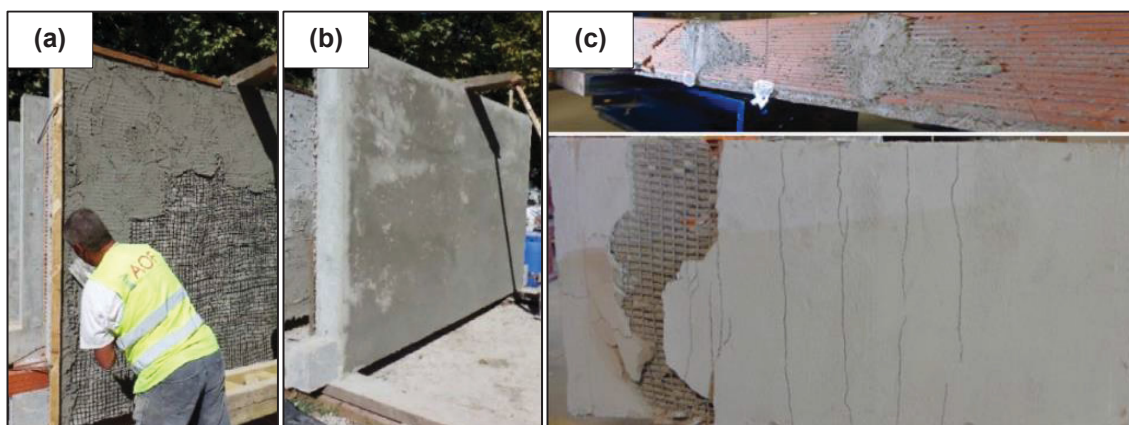


FONTE: Azevedo *et al.* (2019).

Por outro lado, alguns artigos reportaram a vulnerabilidade das alvenarias de vedação em estruturas de concreto armado observada durante terremotos anteriores em regiões propensas a abalos sísmicos, como em alguns países da Europa, resultando em perdas de vidas humanas e enormes custos de reparo ou reconstrução. Isso justifica a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o comportamento dessas alvenarias, como os desenvolvidos por Martins *et al.* (2015), Akhoundi *et al.* (2018), Torres *et al.* (2021), Garcia-Ramonda *et al.* (2022) e Sousa *et al.* (2022) em países como Portugal, Espanha e Itália.

Akhoundi *et al.* (2018) realizaram uma extensa campanha experimental baseada em testes cíclicos estáticos em paredes de alvenaria em escala reduzida para avaliação do desempenho da alvenaria com camada de argamassa reforçada com têxteis (FIGURA 9a, b). Martins *et al.* (2015) propuseram uma solução inovadora de reforço para paredes de alvenaria, visando evitar falhas frágeis e reduzir danos materiais e humanos. Eles apresentaram uma malha de reforço composta por hastes de compósito entrelaçadas e avaliaram seu desempenho por meio de ensaios de flexão experimental, comparando-o com malhas comerciais, com o objetivo de evitar colapsos e desintegração prematura da alvenaria durante eventos sísmicos (FIGURA 9c).

FIGURA 9 – Revestimento com argamassa reforçada: (a) aplicação da segunda camada de argamassa; (b) aspecto final; (c) falha típica



FONTE: Akhoundi *et al.* (2018) (a,b); Martins *et al.* (2015) (c), Torres *et al.* (2021).

A análise das metodologias experimentais, embora diversificadas, revela similaridades. Os métodos utilizados geralmente seguem as normativas técnicas locais ou apresentam adaptações, empregando materiais usuais da região. As

dimensões dos exemplares são delimitadas de acordo com os equipamentos disponíveis nos laboratórios de pesquisa. Na maioria dos casos, são realizados testes de resistência à compressão, enquanto em menor frequência, é analisado o módulo de deformação com diferentes configurações. Esses ensaios permitem analisar as curvas tensão-deformação, os padrões de danos e modos de ruptura dos protótipos. Nesta pesquisa, além dessas análises geralmente realizadas em protótipos de alvenaria, incluiu-se a avaliação do desempenho da aderência dos revestimentos aplicados sobre os prismas quando submetidos à compressão.

2.2 DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Uma das etapas finais do processo de construção é o acabamento das superfícies, que inclui o uso de revestimentos de argamassa. No Brasil, a maioria das construções utiliza esse tipo de revestimento tanto em ambientes internos quanto nas fachadas. Os revestimentos externos desempenham um papel crucial como camada protetora, protegendo o substrato contra intempéries e desgaste (Stolz *et al.*, 2016; Farinha *et al.*, 2021). A qualidade desses revestimentos é fundamental para garantir o conforto dos ambientes de trabalho e residências, uma vez que, devido à relação entre a área e o volume das argamassas de revestimento, essas camadas estão expostas a ações intensas do meio ambiente e do substrato, o que pode gerar tensões quase permanentes (Bastos, 2001). Além disso, a falta de controle tecnológico muitas vezes resulta em problemas patológicos que comprometem o desempenho dos revestimentos (Stolz *et al.*, 2016).

Para mitigar esses problemas, é essencial compreender a capacidade de deformação das argamassas de revestimento, medida pelo seu módulo de elasticidade, a fim de garantir a compatibilidade adequada entre a argamassa e o substrato, considerando a deformabilidade do conjunto. Vários pesquisadores têm se dedicado ao estudo da aderência das argamassas aos substratos, dado que problemas de aderência podem afetar negativamente as fachadas e reduzir o valor de mercado das construções (Taylor-Firth, Taylor; 1990; Carasek, 1996; Antunes, 2005; Stolz, 2011; Costa, 2014). Neste capítulo, também serão abordados aspectos relacionados a essas propriedades.

2.2.1 Deformabilidade das argamassas de revestimento

Um material é considerado perfeitamente elástico se surgem e desaparecem deformações imediatamente após a aplicação ou retirada de tensões. Essas deformações, que frequentemente levam à fissuração, podem ser explicadas como respostas do material às cargas externas e ao meio ambiente (Mehta; Monteiro, 2008; Neville, 2015).

Os esforços atuantes nas argamassas de revestimento podem ser provenientes da deformação diferencial da base, da retração por secagem no estado fresco e/ou durante o processo de endurecimento da própria argamassa, da retração por variação térmica ou do carregamento do revestimento por ações externas, como ação dos ventos ou de revestimentos finais (Bastos, 2003; Silva; Campiteli, 2006; Baía; Sabbatini, 2016). Quanto à deformação diferencial da base, estas podem ocorrer como consequência do comportamento dos materiais constituintes ou durante o uso da estrutura (Candia, 1998; Juste, 2001). Grande parte da propagação de fissuras, uma das anomalias mais comuns em fachadas de edifícios, surgem devido a tensões internas na argamassa de revestimento, por deformações ou restrições impostas pelo substrato (Marques *et al.*, 2020).

A capacidade das argamassas de se deformarem ajuda na distribuição dos esforços na alvenaria. Isso porque o revestimento de argamassa pode absorvê-los parcialmente e dissipá-los através de microfissuras que surgem nas interfaces microscópicas entre os grãos do agregado e a pasta ou por fissuras capilares nas juntas, de forma praticamente imperceptível. Ambos mecanismos contribuem a não comprometer o desempenho do revestimento (Carvalho Jr.; Ribas, 2007; Deniz; Erdogan, 2015; Baía; Sabbatini, 2016).

Este fato, no entanto, não acontece em argamassas muito rígidas, ou seja, com elevado módulo de elasticidade. Estas argamassas geralmente possibilitam a concentração dos efeitos de qualquer deformação diferencial em um pequeno número de fissuras com grandes aberturas, provocando infiltrações de água e perda de aderência com o substrato. De forma alguma interessa um revestimento demasiadamente rígido, a ponto de fissurar-se sob um determinado nível de tensões, sem antes oferecer a possibilidade de deformar-se (Bastos, 2001).

Assim, a integração de todos os componentes da edificação, não apenas o comportamento individual destes atua como fator determinante para garantir o bom

desempenho da edificação e proporcionar aos usuários confiabilidade e conforto (Antunes; Masuero, 2016). Por exemplo, no âmbito dos estudos de reabilitação de edifícios antigos, a procura de argamassas de revestimento ou de revestimento de substituição adequadas, compatíveis com os materiais e estruturas existentes (como paredes de alvenaria) em termos de deformabilidade, é um dos aspetos fundamentais para o seu sucesso (Marques *et al.*, 2020).

A necessidade de a argamassa se adaptar a deformações do substrato e de suportar as suas próprias deformações induzidas pelas variações de temperatura e umidade obriga que esta seja o mais compatível possível com a base (Aragón *et al.*, 2019). Diante disso, é evidente a importância do comportamento das argamassas de revestimento quanto à deformabilidade do conjunto, de tal maneira que mais se aproxime das condições reais de uso.

2.2.1.1 Módulos de elasticidade estático e dinâmico

Uma das propriedades mais importante para a argamassa possuir resistência à fissuração é o seu módulo de elasticidade ou módulo de deformação (módulo de Young). O módulo de elasticidade é a propriedade que traduz a deformabilidade das argamassas. Os estudos de deformabilidade devem incluir um ou mais métodos experimentais para determinar o módulo de elasticidade (E) das argamassas de revestimento (Marques *et al.*, 2020). Existem duas abordagens principais para determinar experimentalmente o módulo de elasticidade de materiais cimentícios: metodologias experimentais estáticas e metodologias experimentais dinâmicas.

O método dinâmico pode ser determinado tanto pela propagação de ondas ultrassônicas quanto pelo método de baixa frequência medindo o comportamento vibracional. Ao longo dos anos, o método dinâmico tem sido estudado por vários autores (Popovics, Popovics, 1992; Martínez-Molina *et al.*, 2014; Nalon *et al.*, 2021), assim como o método vibracional (Swamy; Rigby, 1971; Rosell, Cantalapiedra, 2011; Lu *et al.*, 2013). Ambos os métodos são realizados em ensaios não destrutivos.

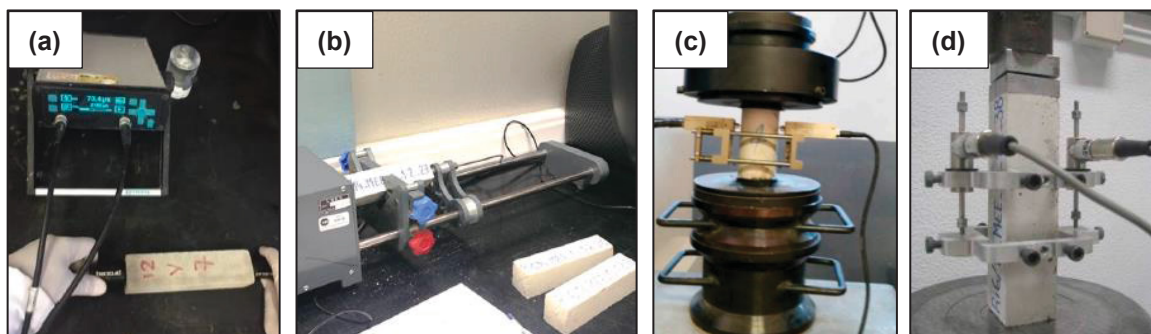
No primeiro método, o módulo de elasticidade do material é determinado com base na velocidade de propagação das ondas ultrassônicas através de corpos de prova. No segundo método, um sinal de vibração é induzido ao longo do corpo de prova, e sua resposta é medida. A frequência de ressonância do corpo de prova é calculada a partir dos dados obtidos, identificando a frequência que produz a máxima

amplitude de vibração. Essa frequência pode então ser utilizada para calcular o valor correspondente do módulo de elasticidade do corpo de prova (Marques *et al.*, 2020).

A normalização vigente no Brasil contempla a NBR 15630 (ABNT, 2008), que prescreve a metodologia para determinação do módulo de elasticidade dinâmico de argamassas, por meio da propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultrassônicos, em corpos de prova prismáticos de (40×40×160) mm, de forma não destrutiva (FIGURA 10a).

A NBR 8522-2 (ABNT, 2021) estabelece o método de ensaio para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico do concreto empregando o método das frequências naturais de vibração excitadas por impacto, em corpos de prova e testemunhos cilíndricos (FIGURA 10b). A NBR 8522-1 (ABNT, 2021), por sua vez, especifica um método para a determinação do módulo estático de elasticidade à compressão do concreto em corpos de prova cilíndricos. Neste método, para avaliar a deformação de ruptura de argamassas sob ensaios de tração ou compressão, normalmente utilizam-se extensômetros aderidos à superfície de corpos de prova cilíndricos de (50×100) mm (FIGURA 10c) ou prismáticos de (40×40×160) mm (FIGURA 10d).

FIGURA 10 – Determinação do módulo de elasticidade: dinâmico ultrassônico (a); dinâmico vibracional (b); estático em CP (50×100) mm (c) e em CP (40×40×160) mm (d)



FONTE: Martins (2021) (a); Marques *et al.* (2020) (b); Nalon *et al.* (2021) (c); Marques *et al.* (2019) (d)

De acordo com a NBR 8522 (ABNT, 2021), o módulo de elasticidade estático é obtido a partir da inclinação de uma reta ideal entre 5% e 30% da tensão de ruptura, ignorando o comportamento do material em deformações inferiores a 5% (módulo de elasticidade secante). Ao contrário, quando são utilizados testes dinâmicos para determinar este módulo, as ondas vibracionais são sempre de baixa amplitude,

portanto, o valor numérico corresponde a pequenas deformações próximas à origem (Aragón *et al.*, 2019).

Os resultados obtidos com metodologias estáticas são significativamente diferentes do que os obtidos com metodologias dinâmicas para a maioria das aplicações de engenharia civil (Mehta; Monteiro, 2008). No entanto, como os resultados de módulo de elasticidade estático (E_s) são escassos devido à falta de uma metodologia estabelecida para argamassas, principalmente devido à sua menor resistência mecânica e maior fragilidade em relação ao concreto, os engenheiros são levados a utilizar as metodologias para determinação do módulo dinâmico já estabelecidas (E_d) (Farinha *et al.*, 2015; Damas *et al.*, 2018; Marques *et al.*, 2020).

No âmbito internacional existem normas europeias que preconizam os ensaios para determinação do módulo de elasticidade de materiais, como os propostos pela “BS EN 14146:2004 - *Natural stone test methods - determination of the dynamic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency)*” e “BS EN 12504-4:2021 - *Testing concrete in structures - determination of ultrasonic pulse velocity*”.

Há normas americanas como a “ASTM C469:2022 - *Standard test method for static modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression*”, que especifica o uso de corpos de prova cilíndricos de (5×10) cm ou (10×20) cm para determinação do módulo de elasticidade estático de concretos e a “ASTM C597:2016 - *Standard test method for pulse velocity through concrete*”, a qual descreve que o procedimento para determinar o módulo de elasticidade de concretos são aplicáveis em testes de campo e laboratorial, independentemente do tamanho ou da forma dos corpos de prova dentro das limitações da fonte geradora dos pulsos.

2.2.1.2 Relações entre as propriedades mecânicas das argamassas

Reverendo a base de dados experimental relacionada com a determinação dos módulos de elasticidade e resistência de materiais cimentícios, é verificado uma predominância de pesquisas com foco no concreto. Para diferentes tipos de concretos, correlações numéricas empíricas entre resistência à compressão, módulo de elasticidade estático e dinâmico tem sido estabelecidas por diversos autores (Lee *et al.*, 2015; Smarzewski; Barnat-Hunek, 2018; De Azevedo, 2020). Pesquisas mostraram correlações entre outras propriedades como a velocidade de propagação

das ondas ultrassônicas e: i) a resistência à compressão de concretos (Han; Kim, 2004; Matusinovic *et al.*, 2004; Voigt *et al.*, 2006) e ii) a homogeneidade do material em relação a diferentes tipos de agregados (Lydon; Iacovou, 1995).

Por outro lado, embora a importância do módulo de elasticidade na caracterização de argamassas seja bem conhecida, nos últimos anos, publicações científicas a respeito de metodologias experimentais para determinação dos módulos de elasticidade estático e dinâmico de argamassas tem sido amplamente dispersas (Marques *et al.*, 2019; Marques *et al.*, 2020; Nalon *et al.*, 2021).

A até então falta de consenso sobre qual metodologia era mais adequada a ser utilizada levava a resultados inconsistentes na caracterização das argamassas, quando se comparavam dados de diferentes pesquisas. Devido à falta de bibliografia disponível sobre correlações entre os valores de módulo de elasticidade estático e dinâmico das argamassas e outros parâmetros do material, as conclusões obtidas em estudos realizados em concreto eram por vezes adaptadas a estudos de argamassa, uma vez que ambos materiais apresentam características e comportamentos comuns (Arandigoyen; 2005; Nalon *et al.*, 2021).

No entanto, a versão atualizada da NBR 13281-1 (ABNT, 2023) estabelece o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico, regido pela NBR 15630 (ABNT, 2008), como método de ensaio classificatório para as argamassas inorgânicas destinadas ao revestimento de paredes e tetos, independentemente de sua forma de produção e de aplicação. De acordo com a norma, as argamassas são classificadas em quatro diferentes classes, conforme mostrado na TABELA 1.

TABELA 1 – Classificação das argamassas quanto ao módulo de elasticidade dinâmico

Classe	Módulo de elasticidade dinâmico - E_d (MPa)
E1	$12000 < E_d \leq 14000$
E2	$9500 < E_d \leq 12000$
E3	$7000 < E_d \leq 9500$
E4	$E_d \leq 7000$

Nota: Valores de módulo de elasticidade dinâmico maiores que 14000 MPa não são aceitos para argamassa inorgânicas para revestimento.

FONTE: NBR 13281-1 (ABNT, 2023)

Os módulos de elasticidade das argamassas de revestimento também permitem avaliar sua suscetibilidade à fissuração, com base em critérios

estabelecidos pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB, 1993). Esses critérios consideram tanto o valor individual do módulo (E) quanto a razão entre este módulo e a resistência à tração na flexão das argamassas (E/R_f), como apresentado na TABELA 2.

TABELA 2 – Critérios para avaliação da susceptibilidade à fissuração das argamassas

Susceptibilidade à fissuração	Módulo de elasticidade (GPa)	Módulo de elasticidade / resistência à tração na flexão
Baixa	$E \leq 7000$	$E/R_f \leq 2500$
Média	$7000 < E < 12000$	$2500 < E/R_f < 3500$
Alta	$E \geq 12000$	$E/R_f \geq 3500$

FONTE: CSTB (1993)

A partir dos métodos de ensaio utilizados ao longo dos anos, o QUADRO 3 apresenta uma relação de pesquisas realizadas com argamassas, nas quais relações entre suas propriedades mecânicas foram estabelecidas.

QUADRO 3 – Estudos experimentais que apresentaram relações entre as propriedades mecânicas das argamassas

(continua)

Autoria	Tipo de argamassa	Propriedades correlacionadas	Formato e tamanho do CP
Orchard <i>et al.</i> (1966)	Argamassa de cimento	R_c , E_s , E_d	Cilindros de (3,75×15) cm
Swamy e Rigby (1971)	Argamassa de cimento	R_c , E_d	Cubos de 10 cm (R_c), prismas de (10×10×50) cm (E_d)
Amjad (1999)	Argamassa de cimento	R_c , E_s	Cilindros de (7,5×15) cm
Silva e Campiteli (2008)	Argamassa de cimento e cal para revestimento	R_c , E_d	Cilindros de (5×10) cm
Monte; Barros (2011)	Argamassa de cimento	E_s , E_d	Cilindros de (5×10) cm; prismas de (4×4×16) cm
Haach <i>et al.</i> (2013)	Argamassa de cimento e cal para alvenaria estrutural	R_c , E_s , E_d	Cilindros de (5×10) cm
Valentini <i>et al.</i> (2014)	Argamassa de cimento	R_c , E_d	Cubos de 4 cm (R_c), prismas de (4×4×16) cm (E_d)
Carrasco <i>et al.</i> (2017)	Argamassa de cimento com resíduos de minério de ferro	R_c , E_s , E_d	Cilindros de (5×10) cm
Marques <i>et al.</i> (2019)	Argamassas de cimento	E_s , E_d	Prismas de (4×4×16) cm

QUADRO 4 – Estudos experimentais que apresentaram relações entre as propriedades mecânicas das argamassas

(conclusão)

Autoria	Tipo de argamassa	Propriedades correlacionadas	Formato e tamanho do CP
Marques <i>et al.</i> (2020)	Argamassas de cimento, argamassas de cal	E_s , E_d	Prismas de (4×4×16) cm
Makoond <i>et al.</i> (2020)	Argamassa de cimento, argamassas de cal	E_s , E_d	Prismas de (4×4×16) cm
Nalon <i>et al.</i> (2021)	Argamassa de cimento e cal	R_c , E_s , E_d	Cubos de 10 cm, cilindros de (5×10) cm e (10×20) cm, prismas de (4×4×16) cm
Peisino <i>et al.</i> (2024)	Argamassa de cimento com adições.	R_c , R_f , E_s	Cubos de 4 cm (R_c , E_d), prismas de (4×4×16) cm (R_f)

Nota: R_c (resistência à compressão); R_f (resistência à tração na flexão), E_s (módulo de elasticidade estático); E_d (módulo de elasticidade dinâmico).

FONTE: A autora (2024).

Diversos estudos destacaram que o módulo dinâmico tende a ser superior ao módulo estático, dependendo do tamanho e da forma do corpo de prova (Swamy; Rigby, 1971; Silva; Campiteli, 2008; Monte; Barros, 2011, Nalon *et al.*, 2021). Análises estatísticas não encontraram diferenças significativas entre os módulos de elasticidade estático e dinâmico em diferentes formatos de corpos de prova (Monte; Barros, 2011).

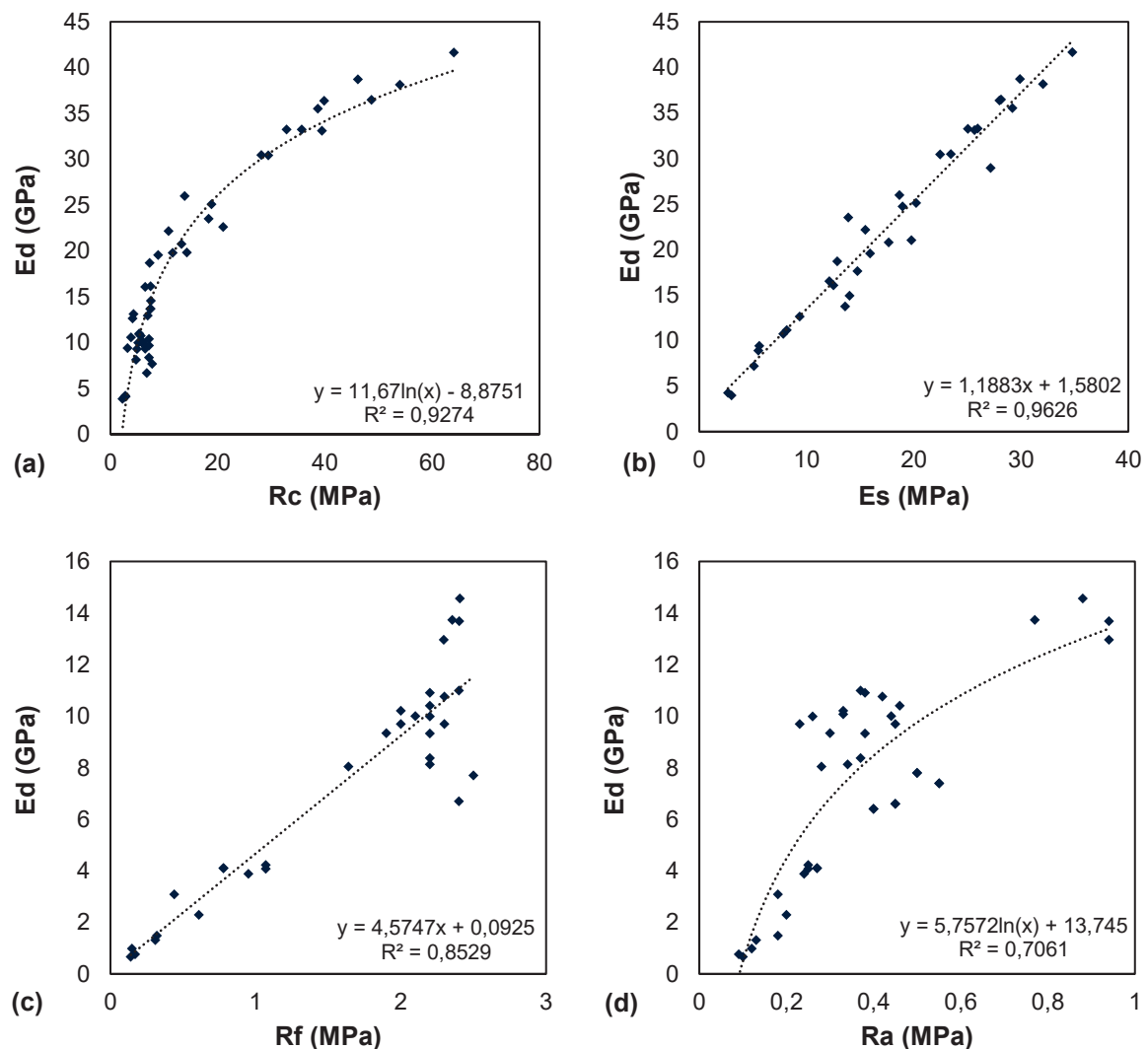
Autores como Haach *et al.* (2013), Carrasco *et al.* (2017) e Makoond *et al.* (2020) observaram uma forte correlação entre os módulos de elasticidade dinâmico e estático, permitindo a estimativa do segundo a partir do primeiro, sendo que o módulo dinâmico se correlacionou melhor com a resistência à compressão das argamassas do que o estático. Valentini *et al.* (2014) estabeleceram relações consistentes entre os módulos de elasticidade e a resistência à compressão, com concordância notável entre valores medidos e previstos dos módulos dinâmicos e as resistências à compressão.

Marques *et al.* (2019) propuseram uma metodologia experimental para determinar o módulo de elasticidade estático em argamassas, adaptada do procedimento padrão usado para corpos de prova de concreto. Para validar essa metodologia, os resultados foram comparados com duas técnicas experimentais estabelecidas para determinar o módulo de elasticidade dinâmico (frequência de ressonância e ultrassônica), além de valores bibliográficos relevantes. Em um estudo subsequente, Marques *et al.* (2020) conduziram uma análise preliminar das relações entre os valores de módulo de elasticidade estático e dinâmico para as argamassas

investigadas, visando estimar valores estáticos a partir dos valores dinâmicos, que são mais prontamente disponíveis.

A partir dos resultados apresentados em diversas pesquisas, que frequentemente estabelecem correlações entre o módulo de elasticidade dinâmico e a resistência à compressão (FIGURA 11a), bem como o módulo de elasticidade estático (FIGURA 11b), são então realizadas correlações adicionais considerando propriedades relevantes para esta pesquisa, como a resistência à tração na flexão (FIGURA 11c) e de aderência à tração das argamassas (FIGURA 11d).

FIGURA 11 – Correlações entre módulo de elasticidade dinâmico e: resistência à compressão (a); módulo de elasticidade estático (b); resistência à tração na flexão (c); resistência de aderência (d)



FONTE: A autora (2024).

A análise conjunta dos resultados encontrados por vários pesquisadores releva as correlações existentes entre as propriedades avaliadas, destacando

principalmente a relação entre o módulo de elasticidade dinâmico e estático ($R^2 = 0,96$) e a resistência à compressão ($R^2 = 0,93$). Além disso, foram estabelecidas boas relações com a resistência à tração na flexão ($R^2 = 0,85$) e a resistência de aderência à tração ($R^2 = 0,70$), corroborando com Silva e Campiteli (2008), Haach *et al.* (2013) e Valentini *et al.* (2014).

2.2.2 Fatores intervenientes na aderência das argamassas de revestimento

A NBR 13528-1 (ABNT, 2019, p. 1) define aderência como “propriedade do revestimento de resistir às tensões atuantes na superfície ou na interface com o substrato”. Conforme a norma, a aderência não é uma propriedade exclusiva da argamassa, mas depende da interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento a ser avaliado (base, preparo da base, revestimento e acabamento).

Os mecanismos de aderência são impulsionados pela microaderência e macroaderência. A microaderência ocorre através da absorção da pasta de argamassa que entra em contato com um substrato poroso, preenchendo os poros e criando uma ancoragem mecânica da argamassa ao substrato. A eficácia da microaderência está diretamente relacionada à capacidade de retenção da argamassa e à absorção de água do substrato. A macroaderência, por sua vez, caracteriza-se pelo preenchimento das protuberâncias e reentrâncias encontradas em uma superfície. A eficácia da macroaderência está diretamente relacionada às propriedades reológicas da argamassa e à rugosidade do substrato (Cardoso *et al.*, 2014; Stolz; Masuero, 2015; Stolz *et al.*, 2016; Govin *et al.*, 2016; Zanelato *et al.*, 2019).

Em outros termos, o desenvolvimento do mecanismo da aderência se dá em duas etapas distintas, consecutivas e intrinsecamente relacionadas: a adesão inicial e a aderência. A primeira ocorre no momento em que a argamassa no estado fresco é lançada sobre o substrato poroso; a segunda é a aderência propriamente dita, que se desenvolve ao longo do processo de hidratação dos aglomerantes da argamassa (Paes, 2004; Moreno Jr.; Selmo, 2007; Stolz *et al.*, 2016).

Diversos fatores podem influenciar a aderência e têm sido estudados há anos por pesquisadores, em âmbito nacional e internacional, como exposto no compilado apresentado no QUADRO 5.

QUADRO 5 – Fatores intervenientes na aderência

Fatores considerados	Autorias
Características e propriedades do substrato	Scartezini <i>et al.</i> , 2002; Kazmierczak <i>et al.</i> , 2007; Starinieri <i>et al.</i> , 2015; Stolz <i>et al.</i> , 2016; Torres <i>et al.</i> , 2018, Oliveira, 2022.
Características das argamassas e seus materiais constituintes	Rodrigues, 2004; Diogenes; Cabral, 2017.
Técnica de aplicação da argamassa	Silva <i>et al.</i> , 2013; Zanelatto <i>et al.</i> , 2013; Válek; Skruzna, 2019.
Condições climáticas no momento da aplicação e ao longo da vida útil do revestimento de argamassa	Guan <i>et al.</i> , 1997; Tongyuan <i>et al.</i> , 2018; Faria; Martins, 2011.
Número e espessura das camadas de argamassa	Zanelatto <i>et al.</i> , 2013; Starinieri <i>et al.</i> , 2015; Silveira <i>et al.</i> , 2021.
Influência da mão de obra no processo de execução do sistema	Guan <i>et al.</i> , 1997.

FONTE: A autora (2024).

Outros fatores, como tempo decorrido após a aplicação da argamassa, força de aplicação, ferramentas utilizadas também podem afetar a aderência. Nessas pesquisas, geralmente fatores são manipulados em um modelo de substrato/revestimento, e testes de arrancamento são conduzidos para avaliar a força normal da ligação entre eles. Conforme mencionado, os fatores que impactam na aderência da argamassa possuem naturezas distintas. Nesta pesquisa, serão analisados, principalmente, os fatores relacionados às características do substrato, à composição da argamassa e suas propriedades, e à ponte de aderência entre o sistema substrato/revestimento. A seguir, esses aspectos serão mais detalhadamente explorados.

2.2.2.1 Características e propriedades do substrato

Os substratos, de um modo geral, podem ser caracterizados de acordo com sua porosidade, rugosidade superficial, textura, sucção capilar e absorção de água inicial, de forma mais recorrente. Essas características, influenciam a velocidade e a quantidade de água transportada da argamassa fresca para o substrato e, consequentemente, modificam a microestrutura da argamassa nesta zona de interface (Torres *et al.*, 2018; Jennings *et al.*, 2000; Costa *et al.*, 2020). A penetração de partículas e a precipitação de cristais no interior dos poros e/ou rugosidades do substrato dependem de vários fatores, relacionados tanto aos aspectos reológicos da

argamassa, quanto da geometria desses poros e das partículas (Costa, 2014; Oliveira, 2022).

A sucção capilar do substrato é responsável pelo movimento dos fluidos e finos da argamassa para a interface substrato/argamassa e para os poros do substrato (quando a argamassa entra em contato com o substrato, seus poros são maiores que os poros do substrato, que são insaturados). Isso diminui a relação água/sólidos da argamassa, o que leva à sua retração plástica e, conseqüentemente, a porosidade da argamassa diminui e eventualmente torna-se menor que os poros do substrato; é quando a sucção cessa (Brocken *et al.*, 1998; Groot; Larbi, 1999; Jennings *et al.*, 2000). Portanto, o comportamento reológico da argamassa muda de acordo com a absorção de água pelo substrato, ou seja, quanto maior a absorção do substrato menor o espalhamento da argamassa (Costa, 2014).

Se a seção transversal das irregularidades superficiais for menor ou igual à das partículas, ocorrerá um entupimento. Adicionalmente, espera-se que as partículas se sedimentem na superfície do substrato, o que pode resultar em um processo de filtração da matriz. É mais provável que o efeito de sucção cause a migração de íons para o interior do substrato. Se a concentração de íons for alta e houver espaço disponível, a precipitação dos hidratos ocorrerá, e depois de algum tempo, esses precipitados intracapilares poderão atuar como pontos de ancoragem entre a matriz e o substrato (Costa, 2014; Oliveira, 2022).

Substratos de alta absorção, por exemplo, podem provocar a insuficiência de água para a completa hidratação do cimento próximo a área de interface entre o substrato e a argamassa, trazendo fragilidade à essa região. Por outro lado, em um substrato com baixa absorção, observa-se um acúmulo de água na zona da interface, fazendo com que surja uma maior porosidade (devido efeito parede que conduz a elevada relação água/cimento nessa zona) e, conseqüentemente, uma condição desfavorável (Carasek, 1997; Apolônio *et al.*, 2015; Torres *et al.*, 2018). Substratos secos resultam em mais vazios na interface, pois a perda de água para substrato reduz a relação água/cimento efetiva e o grau de hidratação do material aplicado (Stolz; Masuero, 2015). O teor de umidade dos substratos, no momento da aplicação, é geralmente inversamente proporcional à resistência de aderência do revestimento de argamassa (Carasek, 1997).

A natureza do substrato também determina o desenvolvimento da ligação adesiva da argamassa com o substrato: uma textura de superfície rugosa auxilia a

penetração de fluidos de argamassa nos poros do substrato (Silva *et al.*, 2013). Temp *et al.* (2017) verificaram que para o mesmo tipo de material do substrato (blocos cerâmicos), a textura da superfície contribuiu para a melhora da aderência do revestimento, chegando a valores até 37,5% maiores nos substratos de blocos nervurados quando comparados com os lisos.

Costa *et al.* (2020) avaliaram o comportamento reológico de argamassas e sua relação com a resistência de aderência com bloco cerâmico e os resultados do *squeeze-flow* mostraram uma diminuição do deslocamento (em torno de 60%) quando a argamassa é aplicada sobre o substrato cerâmico em comparação com uma placa não absorvente. Stolz *et al.* (2016) analisaram a influência da textura do substrato e das características reológicas das argamassas na resistência de aderência, destacando que um aumento na área de contato potencial nem sempre resulta em um aumento na resistência de aderência, pois certas texturas podem dificultar o contato interfacial.

Outros fatores, como a presença de poeira e óleo na superfície do substrato, podem impedir a penetração de fluidos de argamassa em seus poros e cavidades, afetando o desenvolvimento da ligação substrato/argamassa, por isso as atividades de preparação do substrato (limpeza, molhagem, aplicação de produtos específicos para promover aderência ou criar uma superfície rugosa, incluindo ações de reparo, se necessário) são cruciais (Silva *et al.*, 2013). A compatibilidade do substrato com a argamassa aplicada e sua preparação prévia são elementos fundamentais para o funcionamento adequado do sistema argamassa/substrato e, conseqüentemente, para o bom desempenho ao longo do tempo (Santos *et al.*, 2019).

2.2.2.2 Características das argamassas e seus materiais constituintes

Em relação aos fatores relacionados com a composição da argamassa, a escolha dos aglomerantes (por exemplo, o teor de cimento e cal), dos agregados (teor de areia em termos de sucção de água do substrato, % de argila na areia e tamanho e forma dos grãos de areia), além do uso de adições e aditivos têm um impacto significativo nas propriedades das argamassas, especialmente na aderência (Silva *et al.*, 2013; Vaz; Carasek, 2019).

Por exemplo, areias, se muito grossas não permitem uma boa trabalhabilidade e retenção de água das argamassas, o que dificulta a aplicação e prejudica a

aderência do revestimento por reduzir a extensão de aderência (Carneiro, 1999). Por outro lado, a aderência também pode ser prejudicada por um alto teor de finos. Primeiro porque os finos podem penetrar nos poros do substrato no lugar dos produtos de hidratação, tornando a interface mais frágil, segundo pela relação entre o tamanho dos poros do substrato e da argamassa, que pode prejudicar o transporte de água (Tristão, 1995; Carasek, 1996; Carasek *et al.*, 2001).

Carasek (1996) aponta para uma dualidade na função da areia, pois afirma que, da mesma forma que a areia beneficia a aderência por ser um material indeformável e reduzir a retração (também em função de sua proporção em relação aos aglomerantes), um alto teor da mesma atua na redução da resistência de aderência. Além da própria proporção de areia na mistura, características relacionadas à distribuição granulométrica, módulo de finura, superfície específica, massa unitária, índice de vazios, forma dos grãos podem influenciar no comportamento da argamassa em relação ao desenvolvimento da aderência.

Quanto à incorporação de aditivos, muitas pesquisas avaliaram a influência desses materiais na aderência. Diversos autores (Renton; Lee, 1989; Carasek; Campagnolo, 1990; John *et al.*, 1993), citados por Carasek *et al.* (2001), observaram que o uso de aditivos incorporadores de ar em argamassas pode reduzir a aderência, especialmente em argamassas com baixos teores de cimento ou aplicadas sobre substratos com alta sucção de água. Monte e Uemoto (2003) verificaram melhorias na aderência para argamassas com 0,015% de aditivo incorporador de ar em relação à massa de cimento, comparadas ao traço de referência. No entanto, dosagens acima de 0,2% apresentaram resultados insatisfatórios.

Stolz *et al.* (2016) constataram que a presença de aditivos incorporadores de ar nas argamassas reduziu a resistência de aderência, visto que a área de contato argamassa/substrato pode ter sido diminuída devido ao aditivo ter favorecido a formação de vazios de ar na interface. Segundo Carasek (2017), teores elevados de ar incorporado, geralmente acima de 20%, podem causar problemas nos revestimentos, levando a descolamentos. No entanto, abaixo desse valor crítico, a incorporação de ar pode melhorar a aderência, uma vez que melhora a trabalhabilidade da argamassa, permitindo uma "molhagem" mais ampla da superfície do substrato, resultando em uma ligação mais extensa.

Para garantir um bom desempenho quando parte constituinte de um sistema, as argamassas de revestimento devem apresentar propriedades específicas. A

trabalhabilidade confere às argamassas habilidade em fluir ou espalhar-se em toda a área da face do componente de alvenaria, por suas saliências, protuberâncias e fissuras (Carasek, 1996). Uma boa trabalhabilidade reflete um espalhamento adequado da argamassa, portanto, esta deve se apresentar nem muito seca nem fluida, coesa e sem segregação, e com exsudação controlada. Essas características são essenciais para facilitar a aplicação e garantir uma adesão adequada (Sousa, 2005).

Argamassas com baixa trabalhabilidade terão dificuldade em preencher as irregularidades dos substratos, o que resulta na formação de vazios entre os materiais. A existência desses vazios reduz consideravelmente a resistência adesiva entre os materiais, o que pode aumentar a incidência de microfissuras e desencadear manifestações patológicas (Grandes *et al.*, 2018). A trabalhabilidade pode ser aprimorada pelo uso de agregados lisos e bem graduados, cal, aditivos de incorporação de ar e quantidades adequadas de água de mistura (Silva *et al.*, 2013). Ainda, em argamassas de revestimento, a consistência adequada facilita os procedimentos de nivelamento e acabamento e contribui com a produtividade da mão de obra.

As características reológicas das argamassas têm sido investigadas com o intuito de compreender a sua influência no fenômeno de aderência. Stolz *et al.* (2016) verificaram que tanto as características reológicas das argamassas e quanto a textura do substrato têm influência significativa na área de contato efetiva na interface substrato/argamassa. Concluíram que a reologia das argamassas exerceu a maior influência na resistência de aderência, independentemente das variações na área de contato.

Costa *et al.* (2017) avaliou a substituição do cimento por altos teores (30% e 60% em volume) de finos de calcário nas argamassas e verificou que o comportamento reológico variou conforme o tipo e quantidade de finos e a presença do aditivo. O módulo de elasticidade e a resistência à tração diminuíram com o aumento do calcário, mas a resistência de aderência à tração aumentou com 30% de substituição. O aditivo melhorou a aderência sem aumentar necessariamente as propriedades mecânicas. Costa *et al.* (2020), ao avaliarem argamassas com diferentes teores de água em substratos de tijolo cerâmico, observaram que o aumento do teor de água favoreceu a resistência de aderência, possivelmente pelo

fato de ter facilitado o fluxo direcionado da água para o substrato, reduzindo o espalhamento da argamassa após o contato.

2.2.2.3 Pontes de aderência do revestimento de argamassa ao substrato

O preparo da base que receberá a camada de revestimento tem como finalidade promover a boa aderência desta com a base (Ramos; Barbosa, 2016; Botas; Veiga, 2017). O chapisco tem sido o tipo de ponte de aderência mais utilizada, conforme exposto na ordem cronológica da FIGURA 12.

Ainda, em minoria, outros mecanismos com vistas a melhorar a aderência das argamassas ao substrato foram utilizados em outras pesquisas, como superfície do substrato texturizada (Stolz *et al.*, 2011; Stolz *et al.*, 2016; Miotto; Silva, 2017; Oliveira *et al.*, 2023); umedecida (Scartezini *et al.*, 2002; Scartezini *et al.*, 2003; Angelim, 2005; Silva *et al.*, 2017) e aplicação de solução de cal (Scartezini *et al.*, 2002; Scartezini *et al.*, 2003; Angelim, 2005; Silva *et al.*, 2017).

FIGURA 12 – Pesquisas que fizeram o uso de chapisco como ponte de aderência das argamassas

1995	• Almeida <i>et al.</i> ; Carasek e Cascudo; Carvalho Jr. <i>et al.</i> ; Ioppi <i>et al.</i> ; Neves <i>et al.</i> ;
1997	• Bolorino e Cincotto;
1999	• Paes <i>et al.</i> ; Prudêncio <i>et al.</i> ;
2002	• Scartezini <i>et al.</i> ;
2003	• Angelim <i>et al.</i> ; Monte <i>et al.</i> ; Scartezini e Carasek; Silva <i>et al.</i> ; Taube <i>et al.</i> ;
2005	• Angelim; Carasek <i>et al.</i> ; Dualibe <i>et al.</i> ;
2007	• Canova <i>et al.</i> ; Macedo <i>et al.</i> ; Silva <i>et al.</i> ;
2009	• Kazmierczak <i>et al.</i> ; Moura <i>et al.</i> ; Nakakura <i>et al.</i> ;
2011	• Assali e Loh; Mota <i>et al.</i> ;
2012	• Canova <i>et al.</i> ;
2013	• Kazmierczak <i>et al.</i> ; Silva <i>et al.</i> ; Temp <i>et al.</i> ;
2017	• Carasek <i>et al.</i> ; Miotto e Silva; Paes <i>et al.</i> ; Ramos <i>et al.</i> ; Ruffeil <i>et al.</i> ; Silva <i>et al.</i> ; Tiggemann e Longhi;
2018	• Gasques <i>et al.</i> ; Ottoni <i>et al.</i> ; Sentena <i>et al.</i> ;
2019	• Zanelato <i>et al.</i> ;
2023	• Gottlieb e Polesello; Oliveira <i>et al.</i> ; Ottoni <i>et al.</i> ; Paes <i>et al.</i> ; Santos <i>et al.</i>

FONTE: A autora (2024).

O chapisco, componente do sistema de revestimento, é uma camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento. Tem como função proporcionar ao substrato uma textura suficientemente rugosa e com a porosidade adequada para promover uma boa aderência (Ioppi, 1995; Kazmierczak *et al.*, 2007; Carasek, 2010).

Em substratos de alta sucção, como alvenarias de concreto celular e concreto, o chapisco atua reduzindo a taxa de transporte de água da argamassa para o substrato. Por outro lado, em substratos de baixa sucção, como elementos estruturais de concreto e blocos cerâmicos, o chapisco serve para aumentar a absorção de água pela argamassa, assegurando o desenvolvimento adequado da aderência do revestimento (Paes, 2004; Bauer, 2005).

A melhora na aderência com a aplicação do chapisco é perceptível em diversas pesquisas. Alguns trabalhos (Carvalho Jr. *et al.*, 1995; Scartezini *et al.*, 2002; Scartezini; Carasek, 2003; Temp *et al.*, 2013) demonstraram que superfícies preparadas com chapisco apresentaram resistência de aderência até cerca de 30% maior do que em substratos sem preparo. De modo amplo, em outras pesquisas (Almeida *et al.*, 1995; Ioppi *et al.*, 1995; Kazmierczak *et al.*, 2009) também é possível notar uma melhora na aderência com a aplicação do chapisco.

Os chapiscos podem ser classificados de acordo com seus métodos de aplicação em chapisco convencional (lançado no substrato com colher de pedreiro), chapisco adesivo ou colante (aplicado com desempenadeira) e chapisco rolado (aplicado com um rolo de espuma). Os rolos de espuma utilizados no chapisco rolado possuem cavidades, proporcionando a textura rugosa necessária para essa camada de preparo. Esse método oferece a vantagem de aumentar a produtividade, permitindo uma aplicação rápida e ergonômica, especialmente em substratos distantes do operário (Zanelato *et al.*, 2019).

Para garantir um bom desempenho da argamassa de chapisco rolado, é fundamental que ela possua uma consistência adequada para uma aplicação eficaz. Para atingir a consistência e a adesão desejadas, essas argamassas de cimento e areia são frequentemente enriquecidas com aditivos poliméricos, a base de resinas PVA (poliacetato de vinila) ou acrílicas. Para garantir um bom desempenho do

chapisco rolado, recomenda-se o uso de areia de granulometria de média a grossa e peneirada (Lima *et al.*, 2023).

Em outras análises, Moura *et al.* (2009) verificaram que revestimentos sobre chapiscos convencionais apresentaram resistências de aderência menores que os revestimentos aplicados sobre chapiscos industrializados. Os autores afirmam que este comportamento pode estar relacionado ao maior teor de cimento de um dos chapiscos industrializados utilizados naquela pesquisa. Miotto e Silva (2017) apresentaram resultados similares, porém atribuíram o motivo ao fato de que os chapiscos industrializados possuem aditivos com propriedades adesivas em sua composição.

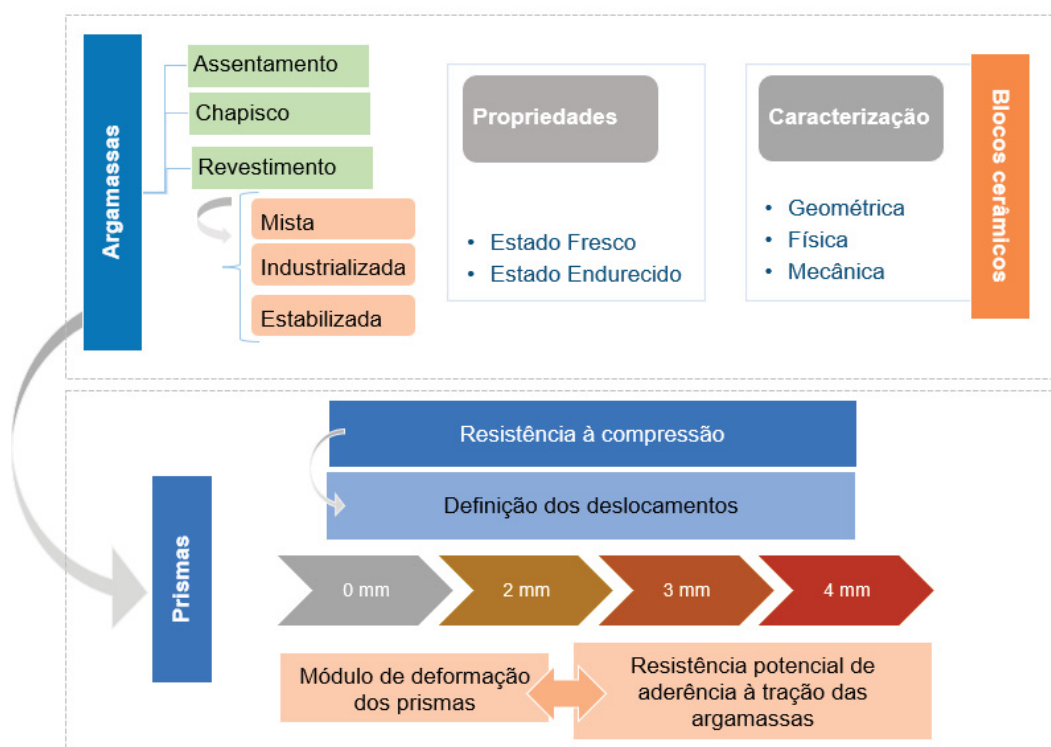
Diante disso, nesta pesquisa optou-se pelo uso do chapisco rolado por tratar-se de material industrializado, possibilitando um maior controle tecnológico na etapa de produção, bem como maior facilidade e homogeneidade durante a aplicação sobre os prismas, realizada por profissional qualificado, por meio do controle de camadas de aplicação.

3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar simultaneamente o módulo de deformação de prismas blocos cerâmicos quando submetidos a diferentes níveis de deslocamento em testes de compressão e a resistência de aderência de revestimentos de argamassa aplicados sobre eles. O uso de prismas oferece uma montagem simplificada dos componentes de alvenaria, proporcionando uma representação mais próxima das condições reais, incluindo os efeitos das propriedades dos materiais constituintes e eventuais solicitações externas, representadas pela aplicação de cargas.

Diante disso, este capítulo relata o planejamento experimental e a descrição de todas as etapas da pesquisa, abordando a seleção e caracterização dos materiais, a caracterização dos blocos cerâmicos e dos substratos, a produção e caracterização das argamassas (no estado fresco e endurecido), bem como o detalhamento das etapas de produção dos prismas de blocos cerâmicos, os ensaios a que foram submetidos e por fim, os critérios para análise e interpretação dos resultados. A FIGURA 13 apresenta um fluxograma resumido do planejamento experimental.

FIGURA 13 – Fluxograma resumido do planejamento experimental



FONTE: A autora (2024).

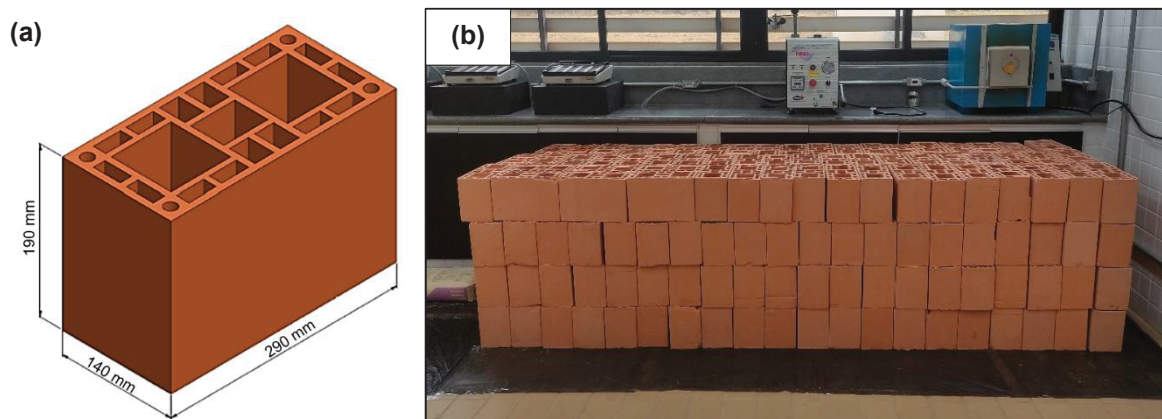
3.1 MATERIAIS

Para o desenvolvimento da parte experimental desta pesquisa foram empregados blocos cerâmicos para alvenaria racionalizada sem função estrutural e argamassas de assentamento, chapisco e revestimento. Os materiais foram selecionados com base na sua aplicação frequente em construções na região Sul do país. A caracterização detalhada desses materiais está apresentada nos itens subsequentes.

3.1.1 Blocos cerâmicos

Os blocos cerâmicos (BL_{cer}) empregados nesta pesquisa foram do tipo de vedação, com furos verticais e dimensões nominais de $(140 \times 190 \times 290)$ mm, de uso difundido na construção da alvenaria racionalizada, conforme ilustrado na FIGURA 14a. A escolha desse tipo de bloco deveu-se à sua maior padronização, à superfície mais lisa e regular, visando minimizar variáveis de interferência. Os blocos cerâmicos foram fornecidos por empresa de cerâmica consolidada da região. Após o recebimento, os blocos foram cuidadosamente transportados e armazenados no laboratório onde os ensaios foram conduzidos (FIGURA 14b).

FIGURA 14 – Bloco cerâmico: representação das dimensões (a), armazenamento em ambiente de laboratório (b)



FONTE: A autora (2024).

3.1.2 Argamassa de assentamento

A argamassa utilizada para o assentamento (AA) dos blocos cerâmicos foi do tipo estabilizada de 36 horas, constituída de cimento Portland (CP II-F-40), agregado miúdo (areia fina), aditivos incorporador de ar e retardador de hidratação, nos percentuais de 0,175% e 0,75%, em relação à massa de cimento, respectivamente, e água potável. Foi fornecida por empresa consolidada na região de Guarapuava/PR, transportada por caminhão betoneira e armazenada em caixas metálicas com capacidade de 0,5 m³. Foi disposta uma lâmina d'água de aproximadamente 2 cm sobre a argamassa durante o período de estabilização, seguindo a recomendação do fabricante. As caixas foram adequadamente protegidas com uma lona plástica recoberta por um tapume de madeira. De acordo com a necessidade de uso, foi realizado o transporte da argamassa até o laboratório utilizando carrinho de mão.

3.1.3 Argamassa de chapisco

A argamassa empregada para o chapisco rolado foi do tipo industrializada, disponibilizada em embalagens de 20 kg, cuja função principal foi estabelecer uma ponte de aderência para as argamassas de revestimento. A argamassa era constituída por cimento, polímeros, agregados minerais e aditivos especiais, cuja quantidade de água recomendada pelo fabricante foi de 4,5 litros de água para um saco de 20 kg de materiais secos. As propriedades desta argamassa estão apresentadas no QUADRO 6. Após o recebimento, os sacos de argamassa para chapisco foram armazenados sobre estrados de madeira, em ambiente de laboratório, local coberto, seco e arejado, até o momento de utilização.

QUADRO 6 – Propriedades da argamassa para chapisco rolado

Propriedades físicas	
Rendimento	± 2,80 kg/m ²
Densidade fresca	1,6 – 2,0 g/cm ³
Propriedades mecânicas	
Resistência de aderência à tração em laboratório	
3 dias	≥ 0,4 MPa
28 dias	≥ 0,6 MPa
Resistência de aderência à tração em campo	
3 dias	≥ 0,3 MPa

FONTE: o fabricante (2023).

3.1.4 Argamassas de revestimento

Foram utilizados três tipos de argamassas para execução dos revestimentos sobre os prismas de blocos cerâmicos: mista (AM), industrializada (AI) e estabilizada (AU). As características de cada tipo de argamassa estão descritas a seguir.

3.1.4.1 Argamassa mista

A argamassa mista (AM) utilizada foi de traço 1:1:6, em volume, e uso recorrente como revestimento na construção civil. Para a produção desta argamassa foi utilizado cimento Portland CP II-F-32, comum na região do estudo e em conformidade com os requisitos da norma NBR 16697 (ABNT, 2018). O cimento Portland CP II-F-32 possuía massa unitária de 1053,20 kg/m³, determinada conforme a NBR 16972 (ABNT, 2021) e massa específica de 3,09 g/cm³, conforme a NBR 16605 (ABNT, 2017). As especificações detalhadas do cimento Portland CP II-F-32 foram fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas na TABELA 3.

TABELA 3 – Caracterização física e química do cimento CP II-F-32

CP II-F-32		Limite NBR 16697: 2018
Características físicas		
Início do tempo de pega (min.)	216	≥ 60
Fim do tempo de pega (min.)	270	≤ 600
Superfície específica (cm ² /g)	3404	≥ 2600
Resíduo insolúvel (%)	143	≤ 7,5
Resistência à compressão - 1 dia (MPa)	15,9	N/A
Resistência à compressão - 3 dias (MPa)	30,2	≥ 10
Resistência à compressão - 7 dias (MPa)	35,5	≥ 20
Resistência à compressão - 28 dias (MPa)	41,8	≥ 32
Características químicas		
Al ₂ O ₃ (%)	4,31	-
SiO ₂ (%)	18,10	-
Fe ₂ O ₃ (%)	2,95	-
CaO (%)	60,25	-
MgO (%)	2,59	N/A
SO ₃ (%)	2,55	≤ 4,5
Perda de fogo (%)	6,73	≤ 12,5
CaO livre (%)	1,73	-

FONTE: O fabricante (2023).

A cal hidratada utilizada foi do tipo CH III, cal dolomítica, composta de hidróxidos de cálcio e magnésio, em conformidade com os requisitos técnicos da NBR 7175 (ABNT, 2003). A cal CH III possuía massa unitária de 593,52 kg/m³ e massa específica de 2,66 g/cm³, ambas determinadas com base nas mesmas normas técnicas utilizadas para os ensaios de caracterização do cimento Portland. As demais especificações da cal hidratada foram fornecidas pelo fabricante e estão apresentadas na TABELA 4.

TABELA 4 – Caracterização física e química da cal hidratada

Propriedades	CH III
Granulometria #70 (%)	≤ 5
Granulometria #140 (%)	≤ 15
Resíduo insolúvel (%)	≥ 35
Óxidos (%)	≤ 10
CO ₂ (%)	≤ 5
Composição	Hidróxido de Cálcio, Magnésio, Silicatos e Aluminatos de Cálcio

FONTE: O fabricante (2023).

O agregado miúdo utilizado no preparo da argamassa mista foi uma areia quartzosa, proveniente do Rio Paraná. As propriedades físicas da areia foram determinadas seguindo os procedimentos de ensaio estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Previamente à realização dos ensaios, a areia foi submetida a um processo de secagem em estufa a uma temperatura de (105 ± 5) °C por, no mínimo, 24 horas, e então armazenada em tambores plásticos hermeticamente fechados para evitar absorção de umidade do ambiente. Todos os ensaios de caracterização foram repetidos três vezes e a média dos resultados foi considerada como o valor final.

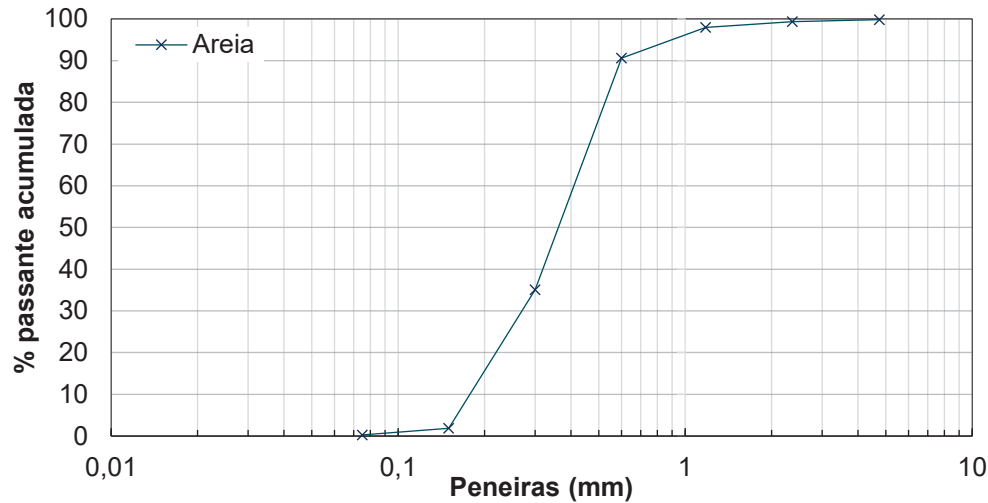
A composição granulométrica da areia está apresentada na TABELA 5 e ilustrada na FIGURA 15, enquanto a sua caracterização física, com os valores correspondentes e normas técnicas, encontram-se na TABELA 6.

TABELA 5 – Composição granulométrica da areia

Peneira	Massa retida (g)	% retida	Massa retida acumulada (g)	% retida acumulada	% passante acumulada
4,75	0,84	0	0,84	0	100
2,36	2,49	0	3,33	1	99
1,18	6,84	1	10,17	2	98
0,6	37,03	7	47,20	9	91
0,3	277,36	55	324,56	65	35
0,15	166,27	33	490,83	98	2
0,075	7,79	2	498,61	100	0
Fundo	0,56	0	499,17	100	0

FONTE: A autora (2024).

FIGURA 15 – Curva granulométrica da areia



FONTE: A autora (2024).

TABELA 6 – Caracterização física da areia

Propriedades	Valor	Norma técnica
Módulo de finura (-)	1,75	NBR 17054 (ABNT, 2022)
DMC (mm)	1,18	Agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio
Classificação (-)	Fina	
Massa unitária solta (g/cm³)	1,37	NBR 16972:2021
Massa unitária compactada (g/cm³)	1,49	Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios
Índice de vazios	38,2	
Densidade (g/cm³)	2,65	NBR 16916 (ABNT, 2021)
Absorção (%)	0,90	Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água
Material pulverulento (%)	1,33	NBR 16973 (ABNT, 2021) Agregados - Determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem

FONTE: A autora (2024).

3.1.4.2 Argamassa industrializada

A argamassa industrializada (AI) empregada para o revestimento dos prismas foi do tipo massa pronta, disponibilizada em embalagens de 20 kg. A sua composição, de acordo com o fabricante, era feita por cimento Portland, areia de sílica e de carbonato de cálcio, nas faixas de concentração de 5-25%, 10-35% e 45-74%, respectivamente, além de aditivos químicos. Após o recebimento, os sacos de argamassa foram armazenados sobre estrados de madeira, em ambiente de laboratório, local coberto, seco e arejado, até o momento de utilização.

3.1.4.3 Argamassa estabilizada

A argamassa estabilizada utilizada para o revestimento dos prismas foi fabricada em usina (AU) de uma empresa consolidada, era do tipo de 36 horas e uso recorrente na execução de alvenaria racionalizada na região. De acordo com o fabricante, era composta por cimento CP II-F-40, agregado miúdo (areia fina), aditivos incorporador de ar e inibidor de hidratação nos percentuais de 0,175% e 0,75%, em relação à massa de cimento, respectivamente, e água potável. A argamassa foi transportada da usina até a área externa do laboratório por caminhão betoneira, onde foi descarregada em caixas metálicas de capacidade de 0,5 m³. As caixas foram adequadamente protegidas contra agentes externos com uma lona plástica recoberta por um tapume de madeira. De acordo com a necessidade de uso, foi realizado o transporte da argamassa até o laboratório utilizando carrinhos de mão.

O QUADRO 7 apresenta as nomenclaturas que serão utilizadas para identificação das argamassas desta pesquisa, de acordo com o seu tipo e finalidade.

QUADRO 7 – Nomenclatura das argamassas

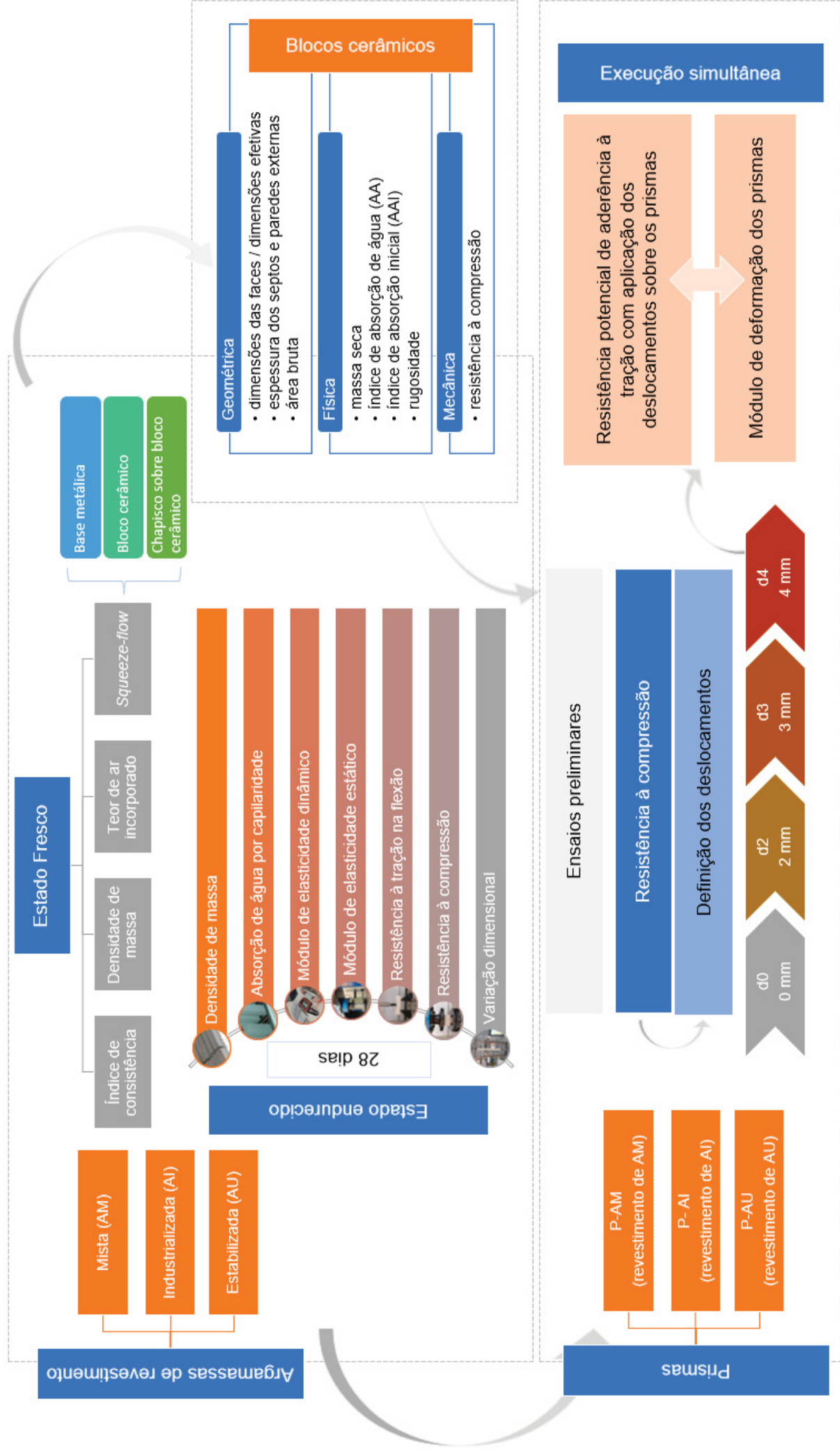
Finalidade	Tipo	Nomenclatura
Assentamento	Estabilizada	AA
Revestimento	Mista	AM
Revestimento	Industrializada	AI
Revestimento	Estabilizada	AU

FONTE: A autora (2024).

3.2 MÉTODOS

O fluxograma detalhado do programa experimental desenvolvido nesta pesquisa está apresentado na FIGURA 16.

FIGURA 16 – Fluxograma detalhado do programa experimental



FONTE: A autora (2024).

Durante a execução do programa experimental, algumas etapas foram realizadas simultaneamente, sem seguir uma sequência linear. Assim, inicialmente, foi realizada a caracterização dos blocos cerâmicos. Em seguida, procedeu-se a moldagem dos prismas em três etapas: i) assentamento dos blocos cerâmicos; ii) aplicação do chapisco rolado sobre os blocos cerâmicos dos prismas; iii) execução dos revestimentos utilizando três diferentes tipos de argamassas (mista, industrializada e estabilizada).

Paralelamente à moldagem dos prismas, foi realizada a caracterização individual das argamassas no estado fresco e a moldagem de corpos de prova para posterior caracterização no estado endurecido. Após o período de cura de 28 dias dos prismas, estes foram inicialmente submetidos ao ensaio de resistência à compressão para determinar os parâmetros de deslocamento, estabelecidos como variáveis fixas do programa experimental. Posteriormente, os prismas foram submetidos à compressão para a determinação simultânea do seu módulo de deformação e da resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento. O planejamento experimental está descrito mais detalhadamente nos próximos itens.

3.2.1 Caracterização dos substratos

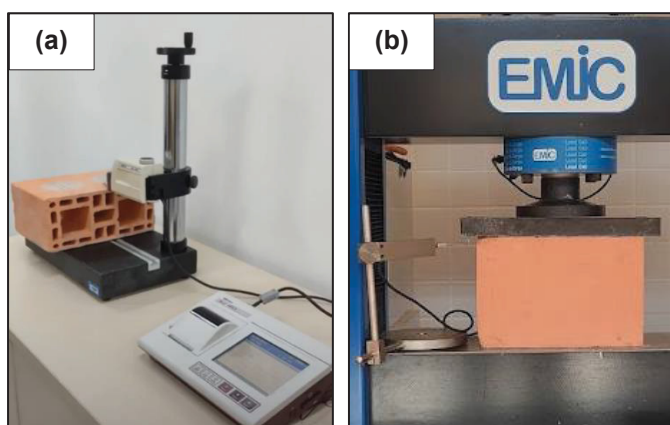
A determinação das características geométricas dos blocos cerâmicos, incluindo a medida das faces – dimensões efetivas, espessura das paredes externas e septos, desvio em relação ao esquadro (D) e planeza das faces (F), foi realizada em uma amostra constituída por 13 (treze) exemplares, de acordo com o estabelecido pela NBR 15270-2 (ABNT, 2023). As características físicas dos blocos cerâmicos foram determinadas, incluindo a massa seca (m_s), o índice de absorção d'água (AA) e o índice de absorção inicial (AAI), em uma amostra de 6 (seis) exemplares, de acordo com a mesma norma. O índice de absorção inicial dos blocos cerâmicos com aplicação de camada de chapisco também foi avaliado, de acordo com o mesmo método.

Para complementar a caracterização física, as rugosidades médias (R_m) das superfícies dos blocos cerâmicos e do chapisco aplicado sobre o bloco cerâmico foram avaliadas utilizando um perfilômetro (Mitutoyo, modelo SJ-410), de acordo com o método descrito na NBR ISO 4287 (ABNT, 2002), repetido em três locais diferentes nas mesmas superfícies (FIGURA 17a). Foram determinados ainda os valores

mínimos (R_q) e máximo (R_z) dos picos de rugosidade para as amostras. A determinação das propriedades físicas dos blocos cerâmicos é crucial para a análise da interface bloco/argamassa. Quando a argamassa de revestimento entra em contato com o substrato cerâmico, as características de ambos os materiais influenciam diretamente o desempenho do revestimento. Dessa forma, entender essas propriedades permite prever e melhorar a aderência e a durabilidade do revestimento.

As propriedades mecânicas dos blocos cerâmicos foram avaliadas em termos de resistência média à compressão (f_{bm}) e de resistência característica (f_{bk}), utilizando-se uma amostra de 13 (treze) exemplares, conforme especificado pela NBR 15270-2 (ABNT, 2023). O ensaio de resistência à compressão dos blocos foi conduzido utilizando uma máquina universal de ensaios com sistema hidráulico da marca EMIC, com capacidade de carga até 300 kN, com velocidade de ensaio de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s, de acordo com o recomendado pela norma (FIGURA 17b). O valor da resistência característica à compressão dos blocos cerâmicos (f_{bk}) foi estimada de acordo com o procedimento de cálculo estabelecido na norma. O módulo de elasticidade do bloco cerâmico foi determinado a partir da curva tensão versus deformação, para a faixa de tensão e deformação entre 5% e 30% da resistência à compressão estimada do bloco, com base na NBR 8522-1 (ABNT, 2021).

FIGURA 17 – Ensaios realizados no bloco cerâmico: rugosidade (a) e resistência à compressão (b)



FONTE: A autora (2024).

A determinação das propriedades mecânicas individuais dos blocos cerâmicos visou fornecer resultados para fundamentar o progresso do programa experimental, tendo em vista a caracterização de prismas de dois blocos cerâmicos e estimativas de comportamentos realizadas preliminarmente.

3.2.2 Produção das argamassas

O consumo de materiais (cimento, cal, areia e água) utilizado para o preparado da argamassa mista está apresentado no QUADRO 8, com os respectivos traços em massa e volume, bem como as relações água/cimento (a/c) e água/materiais secos (a/ms). A argamassa mista foi preparada em ambiente de laboratório utilizando uma betoneira de eixo inclinado com capacidade de 150 litros. Devido ao volume de materiais, a mistura foi realizada em duas etapas, seguindo os procedimentos estabelecidos pela NBR 16541 (ABNT, 2016).

QUADRO 8 – Consumo de materiais para produção da argamassa mista

Traços		
Em volume	1:1:6	
Em massa	1:0,56:7,75	
Materiais	Consumo total	Consumo / betonada
Cimento (kg)	19,83	9,91
Cal (kg)	11,10	5,55
Areia (kg)	153,65	76,83
Água (L)	35,88	17,94
Relações		
a/c	1,81	
a/ms	0,19	

FONTE: A autora (2024).

As argamassas industrializadas utilizadas como chapisco e revestimento foram preparadas em ambiente de laboratório, seguindo as recomendações do fabricante e os procedimentos estabelecidos pela NBR 16541 (ABNT, 2016). O preparo foi realizado em uma betoneira de eixo inclinado com capacidade de 150 litros. A mistura da argamassa de revestimento foi realizada em duas etapas devido ao volume de materiais. O QUADRO 9 apresenta o consumo total de materiais utilizado para a produção das argamassas industrializadas, conforme as recomendações do fabricante.

QUADRO 9 – Consumo de materiais para produção das argamassas industrializadas

Argamassa	Recomendação do fabricante		Produção
	Consumo de materiais	a/ms	Uso total
Industrializada para chapisco	4,5 litros de água / saco de 20 kg de argamassa anidra	0,225	2 sacos de 20 kg 9 litros de água
Industrializada para revestimento	4,0 litros de água / saco de 20 kg de argamassa anidra	0,200	8 sacos de 20 kg 32 litros de água

FONTE: A autora (2024).

As argamassas estabilizadas utilizadas para o assentamento dos blocos cerâmicos e como revestimento dos prismas foram produzidas em usina e fornecidas prontas para uso. Para a etapa de assentamento, foi necessário um volume aproximado de 0,015 m³, enquanto que, para a execução dos revestimentos, o volume total utilizado foi de cerca de 0,1 m³. Previamente à utilização, a argamassa estabilizada foi remisturada de forma manual para retornar à trabalhabilidade adequada para aplicação.

3.2.3 Caracterização das argamassas no estado fresco

A determinação das propriedades das argamassas no estado fresco teve como objetivo fornecer fundamentos para a análise do seu desempenho no estado endurecido. A caracterização das argamassas no estado fresco foi realizada em paralelo à execução dos prismas, de acordo com os ensaios apresentados no QUADRO 10, juntamente com suas respectivas normas. As argamassas produzidas em cada betonada foram caracterizadas.

QUADRO 10 – Ensaio no estado fresco das argamassas

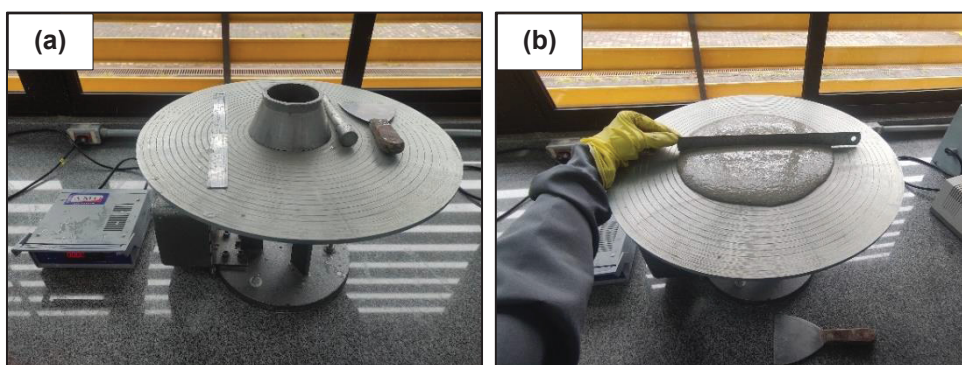
Ensaio	Norma
Densidade de massa	NBR 13278 (ABNT, 2005)
Teor de ar incorporado	NBR 13278 (ABNT, 2005)
Índice de consistência	NBR 13276 (ABNT, 2016)
<i>Squeeze-flow</i>	NBR 15839 (ABNT, 2010)

FONTE: A autora (2024).

3.2.3.1 Índice de consistência

O ensaio de índice de consistência das argamassas foi realizado de acordo com o descrito na NBR 13276 (ABNT, 2016) (FIGURA 18). Para garantir que a consistência estivesse dentro da faixa estabelecida de (260 ± 10) mm, a relação a/ms (água/materiais secos) da argamassa mista foi ajustada e a quantidade de água utilizada no processo de mistura da argamassa industrializada foi determinada, seguindo também o recomendado pelo fabricante. A argamassa estabilizada foi fornecida pronta para uso e submetida ao ensaio para fins de caracterização.

FIGURA 18 – Ensaio de índice de consistência: mesa e utensílios utilizados na execução (a); medição do espalhamento da argamassa (b)

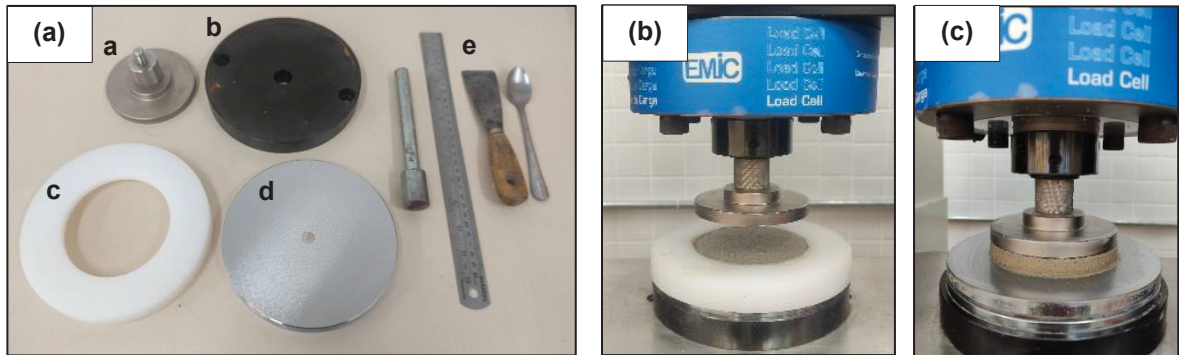


FONTE: A autora (2024).

3.2.3.2 Comportamento reológico pelo método *squeeze-flow*

O ensaio *squeeze-flow* foi realizado na máquina universal de ensaios com sistema hidráulico da marca EMIC, utilizando uma célula de carga de 20 kN, conforme prescrito pela NBR 15839 (ABNT, 2010) (FIGURA 19). As amostras utilizadas para o ensaio foram preparadas com 10 mm de altura e 101 mm de diâmetro. A NBR 15839 (ABNT, 2010) especifica velocidades de deslocamento de 0,1 mm/s e 3 mm/s para o ensaio. Os ensaios foram realizados 10 minutos do início do processo de mistura das argamassas, exceto para a argamassa estabilizada. Três repetições foram conduzidas para cada condição de ensaio, assegurando a precisão dos resultados.

FIGURA 19 – Ensaio *squeeze-flow*: utensílios (a); amostra preparada no molde (b); início da execu(c)

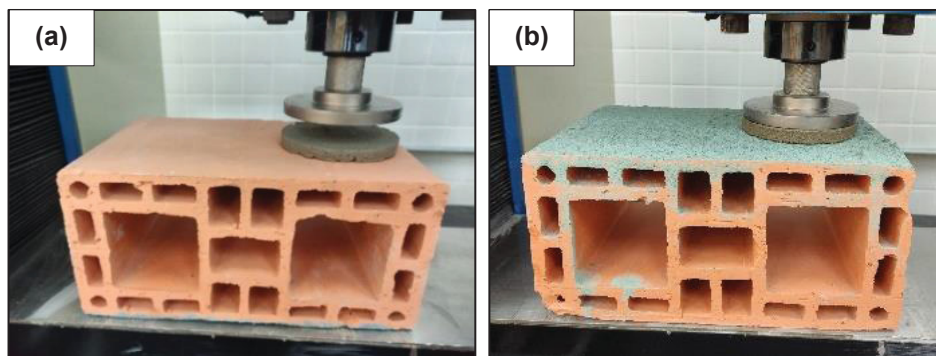


Nota: a) placa metálica superior, b) placa base, c) molde acrílico, d) base metálica inferior, e) utensílios para moldagem.

FONTE: A autora (2024).

Adicionalmente, com o objetivo de investigar o efeito da sucção do substrato na capacidade de espalhamento da argamassa, o ensaio *squeeze-flow* foi realizado tanto em substrato de bloco cerâmico como em substrato de bloco cerâmico com aplicação de camada de chapisco. Para isso, a placa base inferior do equipamento de ensaio foi substituída por ambos substratos. Os blocos com chapisco utilizados neste ensaio foram preparados simultaneamente à aplicação do chapisco rolado sobre os prismas. Após a conclusão da aplicação, foi aguardado um período de 72 horas antes da realização do ensaio. A FIGURA 20 ilustra a execução do ensaio nas duas diferentes condições.

FIGURA 20 – Ensaio *squeeze-flow*: execução sobre bloco cerâmico (a); execução sobre bloco cerâmico com chapisco (b)

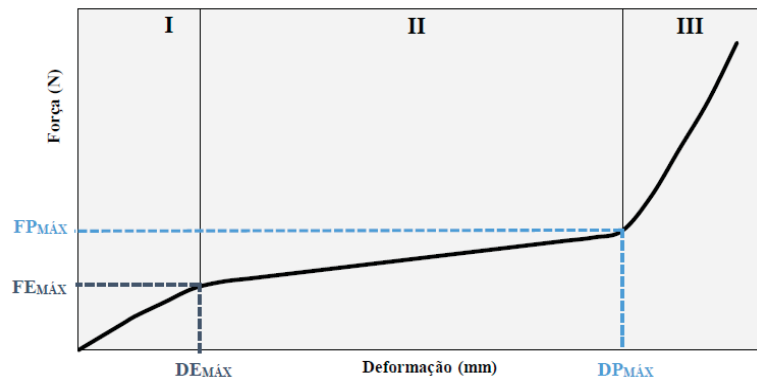


FONTE: A autora (2024).

As curvas de carga-deslocamento obtidas a partir do ensaio *squeeze-flow* revelam três distintos comportamentos, categorizados em estágios. No estágio I ou estágio elástico, o material se comporta como sólido em pequenas deformações,

associado à tensão de escoamento e à deformação elástica; no estágio II ou estágio plástico, ocorrem grandes deformações com pouco aumento da carga, associado à deformação radial elongacional, tensão de cisalhamento, deformação plástica e fluxo viscoso; no estágio III ou estágio de embricamento, são necessárias grandes cargas para aumentar pouco a deformação, associado a forças que restringem o fluxo pela proximidade das partículas e ao enrijecimento por deformação (Cardoso, 2009). A FIGURA 21 ilustra um gráfico típico obtido em um ensaio *squeeze-flow*, identificando os três estágios: I, II e III.

FIGURA 21 – Gráfico típico obtido em um ensaio de *squeeze-flow*



FONTE: Martins (2021).

A partir das curvas obtidas e seguindo a metodologia proposta por Martins (2021), foi possível determinar o deslocamento e a força nos pontos de transição do estágio elástico para o plástico, correspondendo ao deslocamento elástico máximo ($DE_{máx}$) e à força elástica máxima ($FE_{máx}$), assim como nos pontos de transição do estágio plástico para o estágio de embricamento, correspondendo ao deslocamento plástico máximo ($DP_{máx}$) e à força plástica máxima ($FP_{máx}$). As variações dos deslocamentos (Δ_D) e da força (Δ_F) encontradas no ensaio foram determinadas a partir da Equação 1 e Equação 2.

$$\Delta_D = DP_{máx} - DE_{máx}$$

Equação 1

$$\Delta_F = FP_{máx} - FE_{máx}$$

Equação 2

Onde:

$DE_{máx}$ é o deslocamento elástico máximo;

$FE_{máx}$ é a força elástica máxima;

$DP_{máx}$ é o deslocamento plástico máximo;

$FP_{máx}$ é a força plástica máxima.

3.2.4 Caracterização das argamassas no estado endurecido

Após a caracterização das argamassas no estado fresco, corpos de prova foram moldados, protegidos contra a perda de umidade durante as primeiras 24 ± 6 horas, a partir do momento da mistura, desmoldados e curados em ambiente de laboratório até as idades pré-estabelecidas para a realização dos ensaios.

No estado endurecido, as argamassas foram avaliadas de acordo com os ensaios apresentados no QUADRO 11, que também especifica as normas técnicas para cada ensaio, as idades de realização, o número de amostras ensaiadas por idade e as suas dimensões.

QUADRO 11 – Ensaios no estado endurecido das argamassas

Ensaio	Norma	Idade (dias)	Nº de CP's/ idade	Dimensão do CP (mm)
Densidade de massa	NBR 13280 (ABNT, 2005)	28	6	40×40×160
Absorção de água por capilaridade	NBR15259 (ABNT, 2005)	28	6	40×40×160
Módulo de elasticidade dinâmico	NBR 15630 (ABNT, 2008)	28	6	40×40×160
Módulo de elasticidade estático	NBR 8522 (ABNT, 2021)	28	6	50×100
Resistência à tração na flexão e à compressão	NBR 13279 (ABNT, 2005)	28	6	40×40×160
Variação dimensional	NBR 15261 (ABNT, 2005)	1, 3, 7, 14, 21 e 28	6	25×25×285

FONTE: A autora (2024).

A escolha dos ensaios de densidade de massa, absorção de água por capilaridade, módulo de elasticidade dinâmico, resistência à tração na flexão e variação dimensional foi fundamentada nos critérios de desempenho estabelecidos pela NBR 13281-1 (ABNT, 2023), a qual abrange amplamente as características das argamassas de revestimento. Além disso, foram incluídos ensaios complementares para possibilitar uma avaliação mais abrangente, como módulo de elasticidade estático e resistência à compressão. Os ensaios foram executados de acordo com as normas técnicas, conforme especificado nos itens a seguir.

3.2.4.1 Densidade de massa

O ensaio para determinação de densidade de massa foi realizado de acordo com as prescrições normativas da NBR 13280 (ABNT, 2005). A relevância da determinação desta propriedade é assegurar a homogeneidade da mistura, visto que pode influenciar diretamente suas propriedades mecânicas, térmicas e acústicas, além de sua durabilidade. Uma densidade adequada garante a consistência do produto, facilitando a aplicação e garantindo uma boa aderência às superfícies, pois permite que a argamassa penetre nas irregularidades do substrato.

3.2.4.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi conduzido conforme os requisitos estabelecidos pela NBR 15259 (ABNT, 2005), uma vez que foi realizado previamente à atualização da NBR 13281-1 (ABNT, 2023). A relevância da determinação deste ensaio reside no fato desta ser fundamental para avaliar a capacidade do material de absorver e transportar água, o que impacta diretamente suas propriedades mecânicas e desempenho, uma vez que está relacionada à porosidade da argamassa, influenciando sua durabilidade e resistência a ciclos de umidade e secagem. Além disso, uma argamassa com controle adequado dessa propriedade pode proporcionar um equilíbrio na penetração de água, o que é essencial para a aderência eficaz ao substrato.

3.2.4.3 Módulo de elasticidade dinâmico

A determinação do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas de revestimento foi realizada através de ensaio não-destrutivo, por meio da propagação de ondas longitudinais, obtidas por pulsos ultrassônicos, em corpos de prova de dimensões de (40×40×160) mm, conforme prescrições da NBR 15630 (ABNT, 2008). Os mesmos corpos de prova foram utilizados posteriormente para determinação das propriedades mecânicas (resistência à tração na flexão e compressão). O procedimento do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico pode ser observado na FIGURA 22.

FIGURA 22 – Execução do ensaio de módulo de elasticidade dinâmico



FONTE: A autora (2024).

A avaliação desta propriedade é crucial para entender como a argamassa de revestimento se comporta em termos de deformações e tensões, influenciando diretamente sua durabilidade. Um módulo de elasticidade dinâmico adequado indica que a argamassa possui a flexibilidade necessária para acomodar pequenas movimentações e deformações sem causar fissuras ou desprendimentos, o que é vital para a integridade do revestimento ao longo do tempo.

3.2.4.4 Módulo de elasticidade estático

O ensaio para determinar o módulo estático de elasticidade de argamassas de revestimento não dispõe de referências normativas específicas. No entanto, sua condução foi baseada na NBR 8522 (ABNT, 2021), que especifica um método para calcular o módulo estático de elasticidade à compressão do concreto em corpos-de-prova cilíndricos. De acordo com o prescrito na norma, as amostras foram submetidas a ciclos de carga e descarga, seguidos pelo aumento progressivo da carga até que o corpo de prova atingisse seu ponto de ruptura. Nesse momento, a resistência à compressão foi determinada. O ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios de sistema hidráulico da marca EMIC, com uso de um deflectômetro eletrônico EMIC modelo EE05 (FIGURA 23).

FIGURA 23 – Execução do ensaio de módulo de elasticidade estático



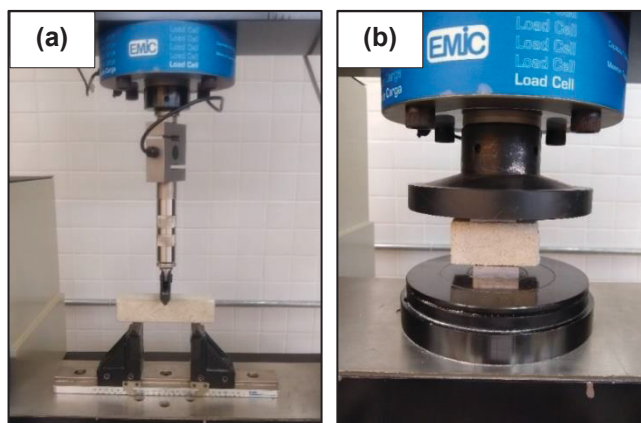
FONTE: A autora (2024).

A avaliação desta propriedade foi realizada para complementar a caracterização estabelecida pela NBR 13281-1 (ABNT, 2023) para as argamassas de revestimento. Considerando que, posteriormente, quando o prisma é submetido à compressão, o revestimento de argamassa também é afetado, nesta condição, torna-se mais apropriado estabelecer relações entre o comportamento do prisma e o módulo estático da argamassa.

3.2.4.5 Resistência à tração na flexão e à compressão

A realização do ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas seguiu as prescrições da NBR 13279 (ABNT, 2005). Inicialmente os corpos de prova de dimensões de (40×40×160) mm foram submetidos ao ensaio de flexão, com aplicação de carga de (50 ± 10) N/s até a ruptura. Em seguida, as metades resultantes do ensaio de tração na flexão foram utilizadas para o ensaio de resistência à compressão, com aplicação de carga de (500 ± 50) N/s até a ruptura. O ensaio foi realizado utilizando a máquina universal de ensaios de sistema hidráulico da marca EMIC, com capacidade de carga de 300 kN e célula de carga de 20 kN, conforme ilustrado na FIGURA 24.

FIGURA 24 – Execução de ensaios: resistência à tração na flexão (a) e resistência à compressão (b)



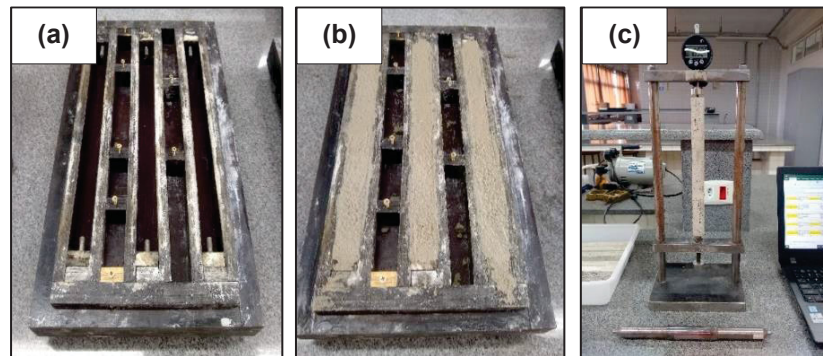
FONTE: A autora (2024).

A determinação das resistências à tração na flexão e à compressão são essenciais para assegurar que a argamassa de revestimento possua a resistência mecânica necessária para desempenhar eficazmente seu papel em diversas condições de uso. A resistência à tração na flexão é especialmente importante para avaliar a capacidade da argamassa de resistir a tensões de flexão que ocorrem devido a variações térmicas, movimentações do substrato ou impactos mecânicos. Uma argamassa com boa resistência à tração na flexão pode acomodar essas tensões sem se romper, preservando a aderência ao substrato. A resistência à compressão, por sua vez, mede a capacidade da argamassa de suportar cargas compressivas sem se deformar ou falhar.

3.2.4.6 Variação dimensional

O ensaio de variação dimensional, comumente utilizado para medir a retração por secagem das argamassas de revestimento é especificado na NBR 15261 (ABNT, 2005). O ensaio prevê a avaliação da variação dimensional por meio de corpos de prova prismáticos com dimensões de (25×25×285) mm, moldados com pinos metálicos que permitem sua fixação - já no estado endurecido - em um pórtico com um relógio comparador (FIGURA 25). Para a leitura no aparelho comparador, é necessária uma calibração prévia usando uma barra padrão. Dessa forma, quando o corpo de prova é posicionado no equipamento, o relógio comparador mostra a diferença entre o corpo de prova e a barra de referência. As leituras foram realizadas em todas as quatro faces do corpo de prova, mantendo-o sempre na mesma posição.

FIGURA 25 – Execução do ensaio de variação dimensional: molde vazio (a); molde com argamassa (b); execução do ensaio (c)



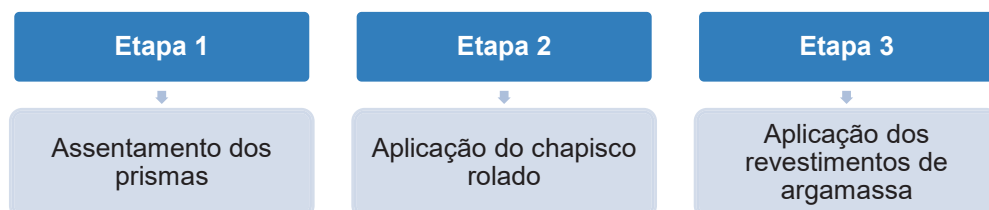
FONTE: A autora (2024).

O objetivo deste ensaio foi caracterizar os diferentes tipos de argamassas de revestimento quanto à retração de secagem, por meio da determinação da redução dimensional. A importância desta determinação está no fato de que as argamassas, ao sofrerem o fenômeno da retração estando fixas a um substrato, podem resultar na formação de fissuras, o que, por sua vez, pode estar indiretamente associado à perda de aderência da argamassa ao revestimento.

3.2.5 Produção dos prismas de blocos cerâmicos

As etapas para a produção e caracterização dos prismas estão detalhadas nos itens seguintes, dividindo-se em três momentos: I) assentamento dos prismas de blocos cerâmicos; II) aplicação do chapisco rolado sobre o prisma; III) aplicação do revestimento de argamassa sobre a superfície com chapisco, utilizando três diferentes tipos de argamassa (AM, AI e AU), conforme mostra a FIGURA 26.

FIGURA 26 – Etapas da produção dos prismas

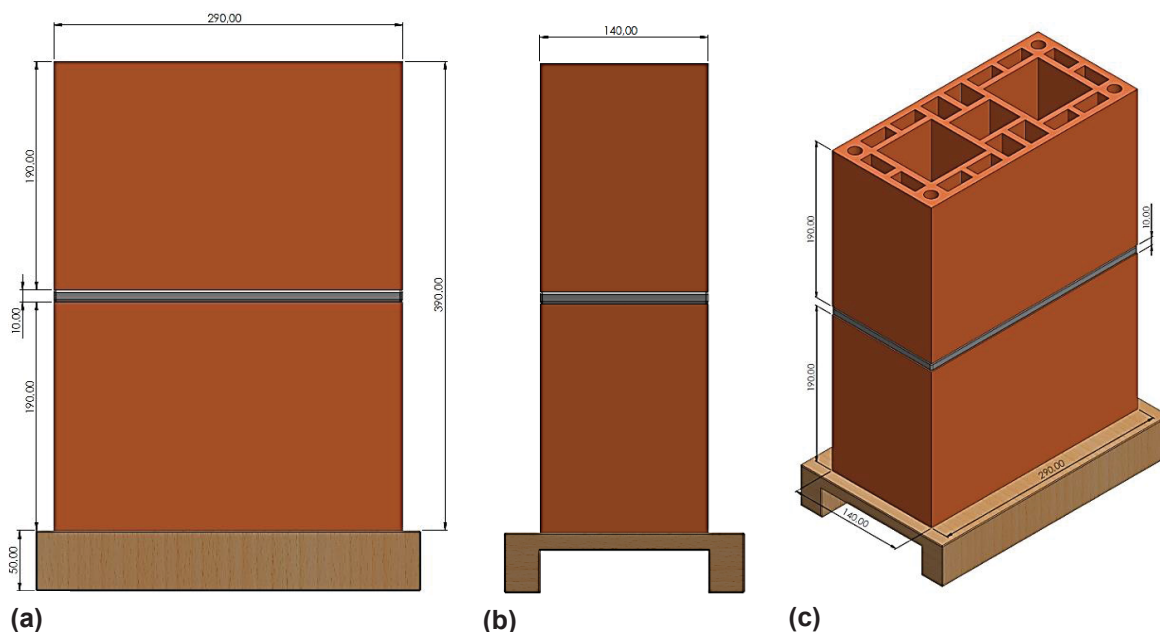


FONTE: A autora (2024).

3.2.5.1 Assentamento dos prismas de blocos cerâmicos

Os prismas foram moldados utilizando-se dois blocos cerâmicos com furos verticais, cada um medindo (140×190×290) mm, assentados com uma junta de argamassa de espessura 10 mm, resultando em uma altura total de 390 mm (FIGURA 27). A argamassa empregada para o assentamento dos blocos foi do tipo estabilizada, fornecida por uma empresa consolidada da região. A escolha dessa argamassa foi feita para contribuir com a homogeneidade dos prismas, uma vez que o controle tecnológico no processo de produção em usina dosadora é mais rigoroso e apresenta menos variáveis de interferência.

FIGURA 27 – Representação de prismas de blocos cerâmicos: vista frontal (a); vista lateral (b); vista ortogonal (c) (unidade de medida em mm)



FONTE: A autora (2024).

A moldagem dos prismas foi realizada em ambiente controlado de laboratório com temperatura e umidade de 23 ± 2 °C e $60 \pm 15\%$, respectivamente, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 16868-3 (ABNT, 2020). Para garantir ergonomia durante o processo, os prismas foram moldados em mesas, sobre suportes de madeirite com aberturas laterais, facilitando o encaixe das mãos. Isso foi projetado para simplificar a movimentação e o transporte dos prismas até a máquina universal de ensaios, que estava localizada no mesmo ambiente (FIGURA 28). Esse cuidado ajudou a minimizar interferências que poderiam prejudicar o revestimento após a cura.

FIGURA 28 – Ambiente de laboratório previamente organizado



FONTE: A autora (2024).

Para garantir uma organização eficaz, quatro fileiras de mesas foram dispostas. Na primeira fileira, foram moldados os prismas com revestimento de argamassa mista; na segunda, os prismas com revestimento de argamassa industrializada; na terceira, os prismas com revestimento de argamassa estabilizada; e na quarta, foram colocados três exemplares de cada tipo de prisma, usados posteriormente nos ensaios preliminares, além de três prismas sem revestimento. Durante todo o período de execução dos procedimentos experimentais, foi mantido um padrão de limpeza e organização no laboratório, utilizando-se lonas plásticas para proteção de mesas, bancadas e pisos.

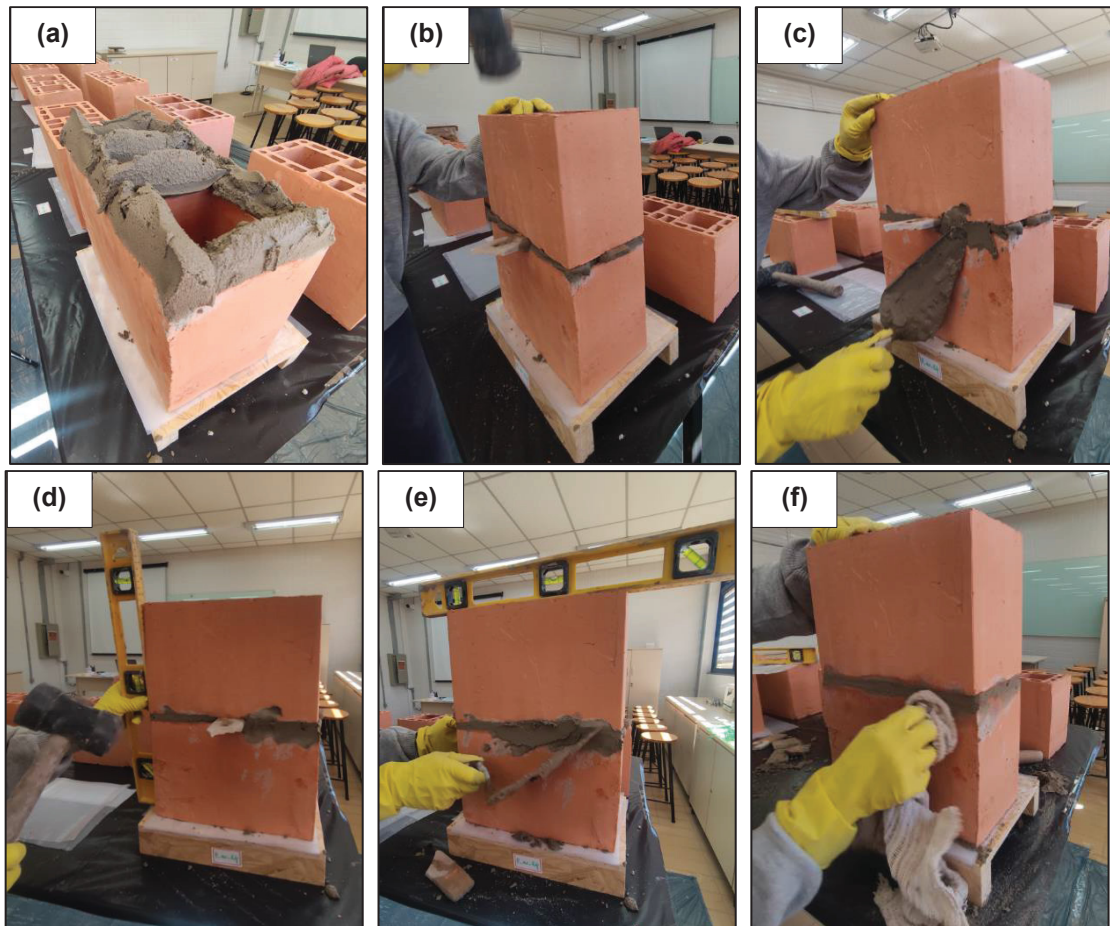
A moldagem dos prismas foi conduzida por um profissional experiente e qualificado, seguindo o procedimento descrito a seguir:

- o bloco cerâmico foi posicionado sobre o suporte de madeirite;
- foi aplicada argamassa de assentamento do tipo estabilizada, com preenchimento total das paredes externas e septos dos blocos;
- um gabarito com 10 mm de espessura foi inserido na argamassa de assentamento, e então o bloco cerâmico superior foi posicionado;
- foi realizado o preenchimento e acabamento, com regularização da argamassa de assentamento em todas as faces do bloco cerâmico;
- o prisma foi ajustado cuidadosamente para garantir que estivesse nivelado tanto vertical quanto horizontalmente;

- o gabarito, que assegurou a espessura de 10 mm da argamassa de assentamento, foi removido;
- o acabamento final foi realizado, seguido da limpeza do prisma.

As diversas etapas de execução dos prismas estão ilustradas na FIGURA 29, enquanto a FIGURA 30, mostra os prismas finalizados durante o período de cura.

FIGURA 29 – Execução dos prismas de blocos cerâmicos: argamassa distribuída sobre o bloco (a); uso de gabarito de 10 mm para demarcação da espessura da argamassa (b); assentamento do bloco superior (c); nivelamento do prisma (d); acabamento (e); limpeza final (f)



FONTE: A autora (2024).

FIGURA 30 – Prismas durante período de cura



FONTE: A autora (2024).

Após a moldagem, os prismas foram mantidos em um ambiente de laboratório até atingirem a idade de 14 dias.

3.2.5.2 Aplicação do chapisco rolado

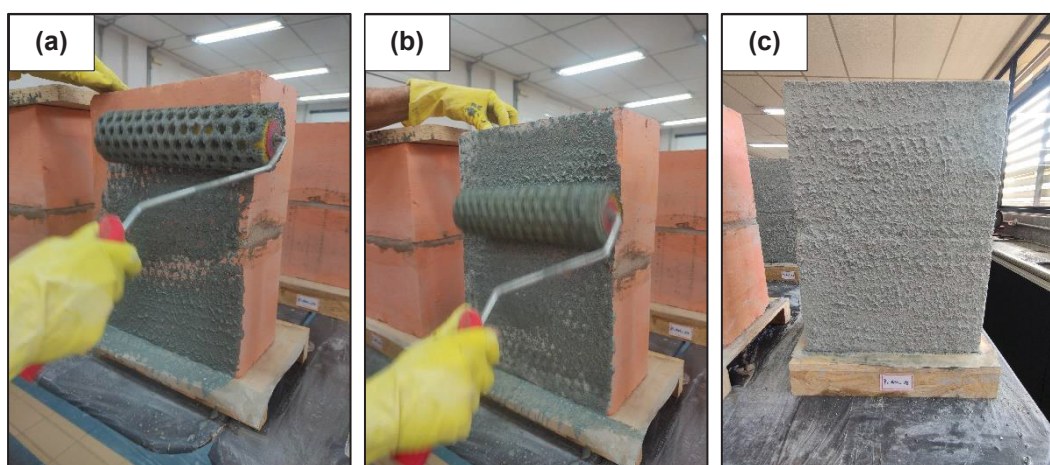
Após o período de 14 dias estipulado para a cura e secagem das juntas de assentamento das argamassas dos prismas, procedeu-se à aplicação do chapisco rolado sobre ambas as faces dos prismas. Para isso, utilizou-se um rolo de textura alta, especificamente recomendado para este uso. A forma de aplicação foi realizada de acordo com as recomendações do fabricante, disponibilizadas em boletim técnico e na embalagem do produto, conforme descrito a seguir:

- a base foi umedecida borrifando água com auxílio de uma brocha, para evitar que a argamassa ressecasse prematuramente;
- o rolo de aplicação foi umedecido e mergulhado no recipiente contendo a argamassa;
- retirou-se o excesso de argamassa do rolo e, em seguida, aplicou-se o chapisco rolado sobre o substrato do prisma com o rolo de textura alta, em movimentos de vaivém, de baixo para cima, cobrindo uniformemente a toda a superfície;

- foram realizadas aplicações em três camadas sequenciais, garantindo um acabamento rugoso, com espessura regular de aproximadamente 3 mm, atendendo a recomendação do fabricante;
- após a primeira hora da aplicação, a argamassa de chapisco foi umedecida borrifando água, para garantir a hidratação do cimento contido na argamassa.

A FIGURA 31 ilustra o processo de execução do chapisco.

FIGURA 31 – Execução do chapisco rolado: aplicação com rolo de textura (a, b); chapisco em processo de cura (c)



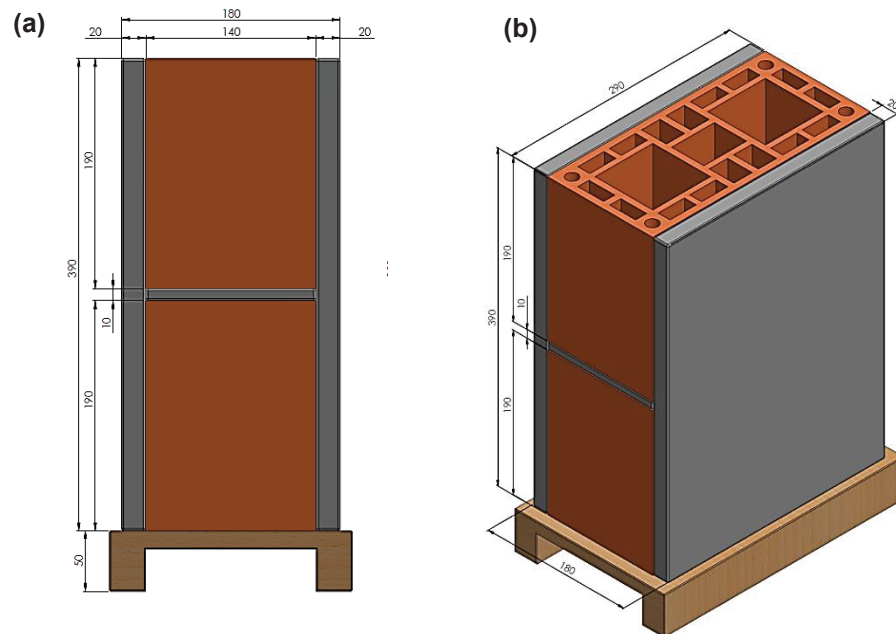
FONTE: A autora (2024).

A aplicação do chapisco foi concluída em um único dia. Após a aplicação, aguardou-se um período mínimo de 72 horas antes de proceder à aplicação do revestimento de argamassa sobre a superfície dos prismas. Durante esse intervalo, os prismas foram mantidos no mesmo ambiente de laboratório.

3.2.5.3 Aplicação do revestimento de argamassa

A aplicação do revestimento de argamassa foi realizada em uma única camada, totalizando uma espessura de 20 mm, em cada uma das faces do prisma (FIGURA 32). A NBR 13749 (ABNT, 2013) recomenda espessura entre 5 mm e 20 mm para revestimento interno e 20 mm e 30 mm para revestimento externo.

FIGURA 32 – Representação de prismas de blocos cerâmicos em: vista lateral (a); vista ortogonal (b) (unidade de medida em mm)



FONTE: A autora (2024).

Durante o processo de execução, foram implementadas diversas medidas para padronizar a espessura do revestimento e otimizar a execução. Desta forma, os seguintes procedimentos foram adotados:

- fixação de gabaritos de madeira na lateral dos prismas com ganchos de vergalhão de aço e conferência do nível e alinhamento;
- aplicação da argamassa de revestimento com colher de pedreiro sobre toda a superfície do prisma;
- após aproximadamente 30 minutos da aplicação da argamassa, realizou-se o sarrafeamento usando uma régua de madeira para nivelar e regularizar a superfície;
- em seguida, a argamassa foi desempenada com uma desempenadeira de PVC para assegurar a planicidade e o acabamento da superfície;
- por fim, os ganchos e os gabaritos foram removidos, concluindo o processo de revestimento.

A FIGURA 33 ilustra diversas etapas da execução do revestimento de argamassa.

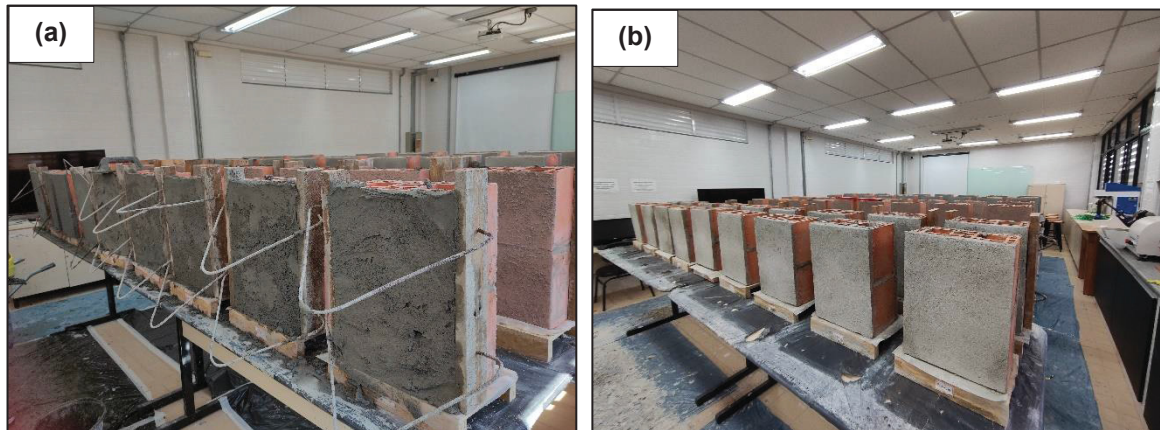
FIGURA 33 – Execução do revestimento de argamassa: conferência do nível (a); conferência do alinhamento (b); aplicação da argamassa sobre a superfície (c); sarrafeamento da superfície (d); desempenamento da superfície (e); prismas finalizados com gabaritos removidos (f)



FONTE: A autora (2024).

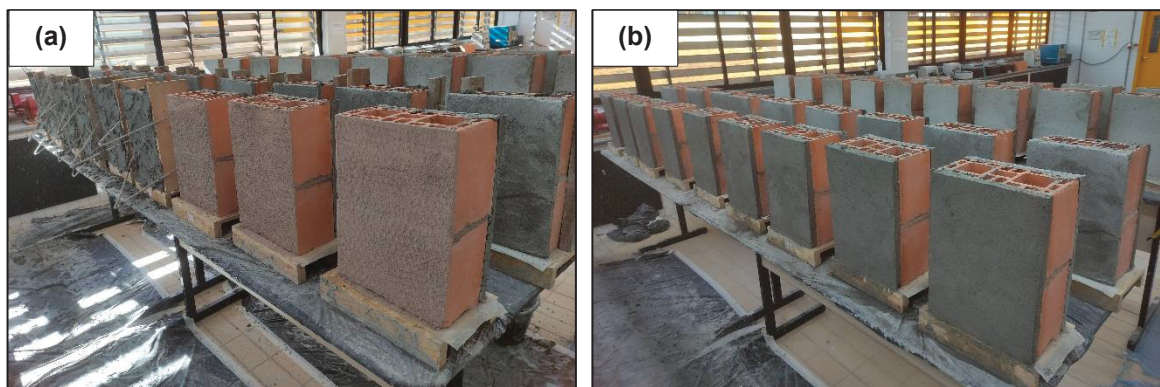
Ressalta-se que o processo ocorreu de forma simultânea e sequencial, conforme a disposição dos prismas nas fileiras sobre as mesas. Após a conclusão do revestimento na face visível, os prismas foram cuidadosamente girados, de modo que a face ainda não revestida ficasse exposta ao profissional. Esse movimento foi realizado suavemente, deslizando o prisma sobre um plástico grosso colocado entre o suporte de madeira e a sua base, a fim de evitar danos à integridade do prisma. As FIGURA 34, 36 e 37 mostram a execução dos revestimentos de argamassa mista, industrializada e estabilizada, respectivamente.

FIGURA 34 – Execução do revestimento com argamassa mista: processo em andamento (a); prismas com revestimento finalizado (b)



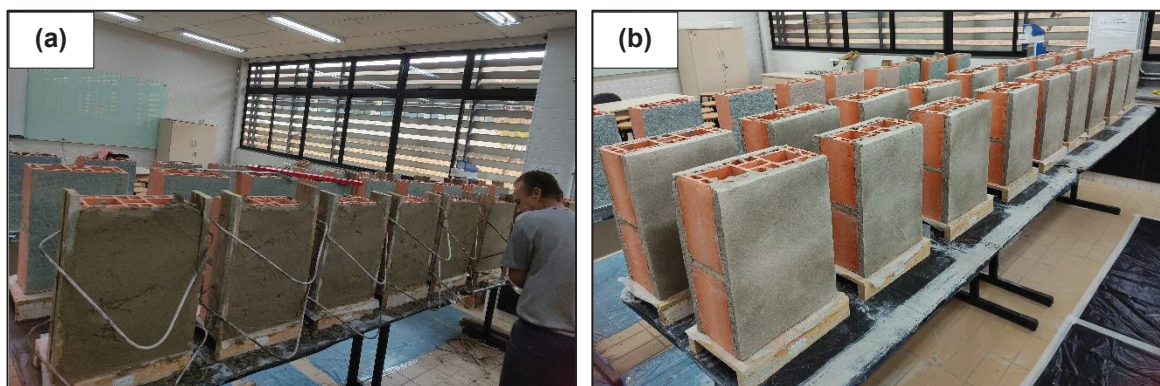
FONTE: A autora (2024).

FIGURA 35 – Execução do revestimento com argamassa industrializada: processo em andamento (a); prismas com revestimento finalizado (b)



FONTE: A autora (2024).

FIGURA 36 – Execução do revestimento com argamassa estabilizada: processo em andamento (a); prismas com revestimento finalizado (b)

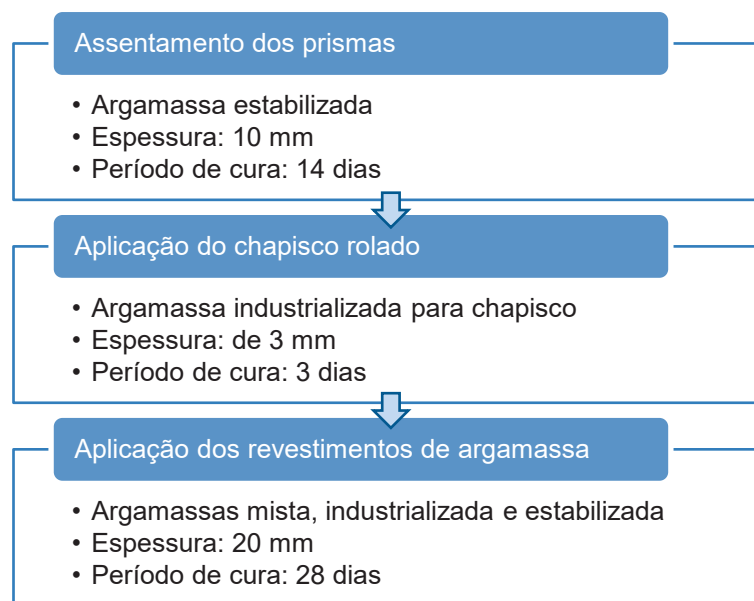


FONTE: A autora (2024).

Após a conclusão da aplicação dos revestimentos, as superfícies superiores dos prismas foram lixadas com lixa de granulometria grossa para remover sujeiras e

promover o alinhamento. Os prismas foram mantidos em condições controladas de laboratório durante o período de cura, até atingirem a idade de 28 ± 3 dias para a realização dos ensaios. As etapas de produção dos prismas, com um resumo das principais características da execução, estão apresentadas na FIGURA 37.

FIGURA 37 – Etapas de produção dos prismas



FONTE: A autora (2024).

3.2.6 Determinação simultânea do módulo de deformação dos prismas e da resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa

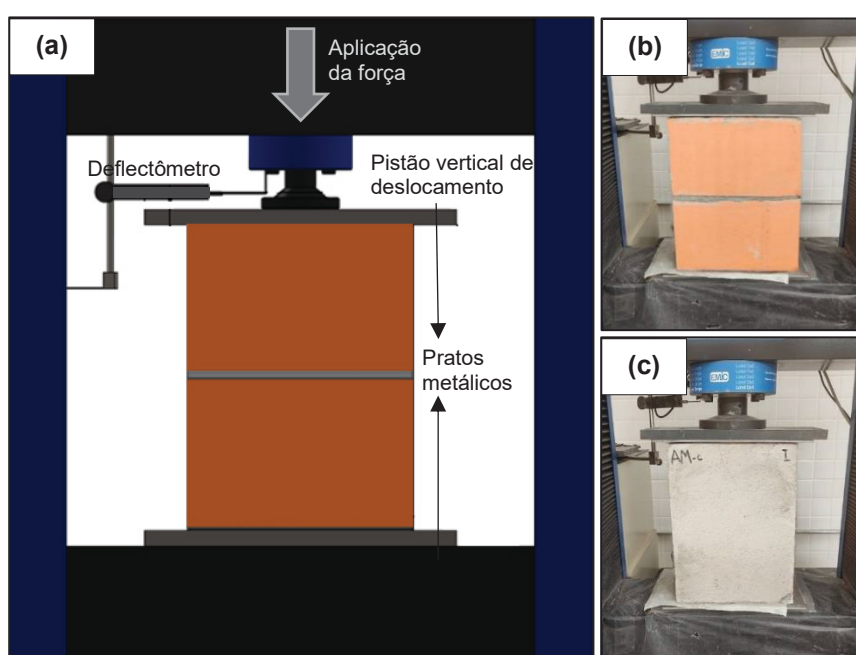
Essa configuração de ensaio teve como objetivo avaliar como os diferentes tipos de argamassas de revestimento responderiam à ação de deslocamentos induzidos por cargas de compressão sobre os prismas. Para isso, inicialmente foram definidos os deslocamentos aplicados sobre os prismas e preparadas as superfícies dos revestimentos para a execução do ensaio de aderência. Em seguida, os prismas foram submetidos a deslocamentos advindos das cargas de compressão, a partir dos quais se determinou o módulo de deformação dos prismas, simultaneamente à execução do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas. Essas etapas estão descritas mais detalhadamente a seguir.

3.2.6.1 Definição dos deslocamentos aplicados sobre os prismas

Após o período de cura, preliminarmente, os prismas foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão. Este ensaio foi realizado com a finalidade de analisar o comportamento dos prismas e verificar os deslocamentos máximos alcançados até o momento da sua ruptura. A partir deste parâmetro, foram estabelecidos os valores de deslocamentos que seriam utilizados para aplicação sobre os prismas durante as etapas seguintes do programa experimental. Os deslocamentos foram escolhidos como variáveis fixas para garantir maior homogeneidade durante a execução do ensaio, assegurando que todos os prismas estivessem submetidos à mesma condição de deformação.

O ensaio foi realizado na máquina universal de ensaios de sistema hidráulico da marca EMIC, com capacidade de carga de até 300 kN. A velocidade de ensaio foi mantida em $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s, conforme especificado pela norma NBR 15270-2 (ABNT, 2023). Um deflectômetro eletrônico EMIC modelo EE05, com faixa de medição de 0 à 12,5 mm e curso útil de 12,5 mm foi posicionado verticalmente sobre o prisma, a fim de determinar com maior precisão seu deslocamento. A FIGURA 38a ilustra a representação do ensaio de resistência à compressão, realizado em prismas sem (FIGURA 38b) e com (FIGURA 38c) a aplicação de revestimento.

FIGURA 38 – Ensaio de resistência à compressão: representação (a); sem aplicação de revestimento (b); com aplicação de revestimento (c)



FONTE: A autora (2024).

Os ensaios foram executados em três exemplares de prismas sem revestimento, a critério de caracterização inicial, e em cinco exemplares de prismas revestidos com cada um dos tipos de argamassas (mista, industrializada e estabilizada). Para a análise dos resultados preliminares, foram estabelecidas faixas de classificação denominadas D45, D56 e D67, a saber:

- Classe D45: prismas com deslocamentos variando de 4 mm a 5 mm;
- Classe D56: prismas com deslocamentos variando de 5 mm a 6 mm;
- Classe D67: prismas com deslocamentos variando de 6 mm a 7 mm.

A TABELA 7 apresenta os valores individuais de deslocamentos máximos determinados para cada exemplar dos prismas produzidos com os diferentes tipos de argamassas, bem como suas respectivas classificações.

TABELA 7 – Caracterização preliminar dos prismas

Prisma	Argamassa de revestimento	Corpo de prova	Deslocamento individual (mm)	Classificação	Deslocamento médio (mm)
P-AM	AM	1	4,92	D45	5,50
		2	5,32	D56	
		3	5,47	D56	
		4	5,51	D56	
		5	6,27	D67	
P-AI	AI	1	4,65	D45	5,42
		2	4,65	D45	
		3	5,28	D56	
		4	5,73	D56	
		5	6,81	D67	
P-AU	AU	1	4,03	D45	5,14
		2	4,68	D45	
		3	4,80	D45	
		4	5,92	D56	
		5	6,29	D67	

Nota: em verde: classe D45 ($4 \text{ mm} \leq \text{deslocamento} \leq 5 \text{ mm}$); em vermelho: classe D56 ($5 \text{ mm} \leq \text{deslocamento} \leq 6 \text{ mm}$); em azul: classe D67 ($6 \text{ mm} \leq \text{deslocamento} \leq 7 \text{ mm}$).

FONTE: A autora (2024).

A análise dos deslocamentos revelou que 40% dos prismas se enquadraram na classe D45, 40% na classe D56 e 20% na classe D67. No entanto, a última classe foi excluída da análise, pois apenas 3 prismas apresentaram deslocamentos superiores a 6 mm. Dessa forma, os valores máximos de deslocamento considerados

para as argamassas mista, industrializada e estabilizada foram de 5,51 mm, 5,73 mm e 5,92 mm, respectivamente.

Resultados experimentais indicam que quando a tensão atuante em prismas atinge cerca de 80% da resistência à compressão, ocorre o surgimento de microfissuras ao longo de toda a extensão dos mesmos, levando ao seu esfacelamento (Santos *et al.*, 2017). Com base nisso, para garantir a segurança na realização dos ensaios, de modo a evitar a ruptura dos prismas antes da execução do ensaio de aderência, foi estabelecido um valor máximo de deslocamento equivalente a 80% dos valores encontrados, ou seja, 4,41 mm, 4,58 mm e 4,74 mm, para as argamassas AM, AI e AU, respectivamente.

Assim, foi definido um valor de deslocamento máximo de 4 mm para atender aos prismas executados com os três tipos de argamassas. A partir desse valor, foram estabelecidos valores intermediários de 2 mm e 3 mm.

3.2.6.2 Nomenclatura e quantidade de exemplares de prismas

A partir da definição dos deslocamentos, assumem-se as condições de ensaio em função dos deslocamentos aplicados sobre os prismas, como apresentado no QUADRO 12.

QUADRO 12 – Condições de ensaio

Condição	Deslocamento aplicado (mm)	Nomenclatura
I	0 mm	d0
II	2 mm	d2
III	3 mm	d3
IV	4 mm	d4

FONTE: A autora (2024).

Na condição normal, sem aplicação de deslocamento, foram ensaiados três exemplares de prismas. Para as condições de deslocamentos de 2 mm, 3 mm e 4 mm, foram produzidos quatro ou cinco exemplares de prismas para cada tipo de argamassa. Assim, para cada tipo de argamassa, foram produzidos 17 prismas, totalizando 51 prismas revestidos.

As nomenclaturas utilizadas para os diferentes prismas são mostradas no QUADRO 13, considerando a condição de ensaio (deslocamento aplicado), bem como o tipo de argamassa utilizada para execução do revestimento. Como convenção, os prismas foram nomeados utilizando a letra P (prisma), seguido do tipo de argamassa (AM, AI ou AU), e do deslocamento aplicado no ensaio (d0, d2, d3 e d4).

QUADRO 13 – Nomenclatura dos prismas mediante diferentes condições de ensaio

Deslocamento	Argamassa mista		Argamassa industrializada		Argamassa estabilizada	
	Sigla	Amostras	Sigla	Amostras	Sigla	Amostras
0 mm (d0)	P-AM-d0	3	P-AI-d0	3	P-AU-d0	3
2 mm (d2)	P-AM-d2	5	P-AI-d2	4	P-AU-d2	4
3 mm (d3)	P-AM-d3	5	P-AI-d3	5	P-AU-d3	5
4 mm (d4)	P-AM-d4	4	P-AI-d4	5	P-AU-d4	5
Total	-	17	-	17	-	17

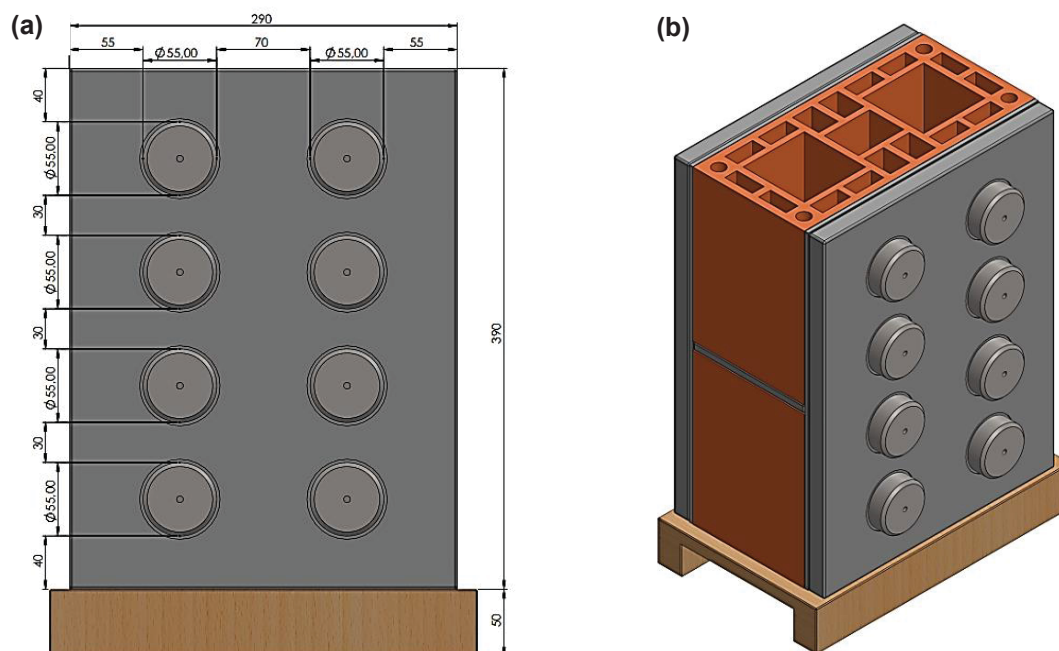
FONTE: A autora (2024).

3.2.6.3 Preparo dos prismas

O procedimento do ensaio de resistência de aderência à tração mediante aplicação de deslocamentos foi adaptado do método prescrito pela NBR 13528-2 (ABNT, 2019). Previamente à execução do ensaio, os corpos de prova foram preparados. Em cada face do prisma foram delimitadas oito áreas circulares de 50 mm para corte, totalizando 16 (dezesseis) áreas de circunferência para cada prisma.

As áreas de corte foram determinadas de forma a ficarem centralizadas sobre os blocos cerâmicos, sem entrar em contato com a junta de assentamento para evitar interferências, visto que os corpos de prova de revestimento ensaiados sobre as juntas de assentamento geralmente apresentam maiores valores de aderência. A FIGURA 39 ilustra os espaçamentos considerados.

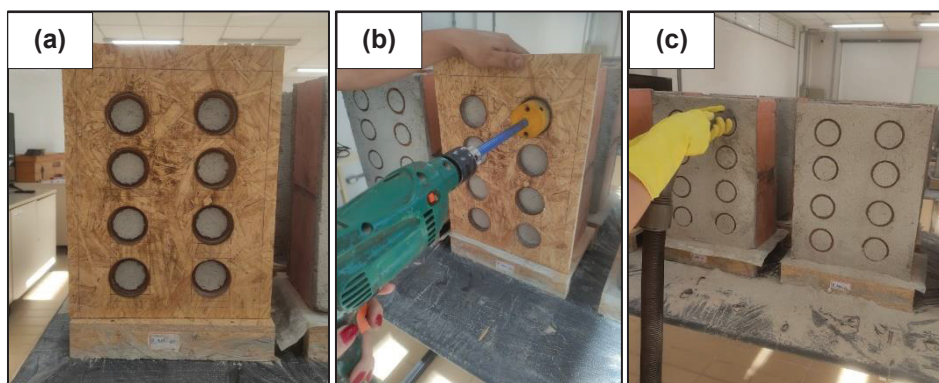
FIGURA 39 – Representação da delimitação das áreas para corte e colagem das pastilhas metálicas nos prismas: vista frontal (a); vista ortogonal (b) (unidade de medida em mm)



FONTE: A autora (2024).

O corte dos prismas foi realizado de forma perpendicular ao revestimento, utilizando serra copo diamantada acoplada em uma furadeira. Após o corte, um dispositivo aspirador de pó foi utilizado para remover o acúmulo de poeira nas cavidades e sobre a superfície dos prismas, assim como no ambiente de laboratório. A FIGURA 40 ilustra os procedimentos de corte dos prismas.

FIGURA 40 – Preparo dos prismas para ensaio de aderência: gabarito utilizado para o corte do revestimento (a); perfuração do revestimento de argamassa com furadeira (b); prisma com áreas de corte delimitadas (c, d)





FONTE: A autora (2024).

Após o corte, foram coladas sobre as circunferências delimitadas, pastilhas metálicas com um dispositivo central para conectar o equipamento usado no ensaio de resistência de aderência à tração. Previamente à colagem, a poeira existente sobre o revestimento de argamassa foi removida, utilizando-se uma escova com cerdas de aço. As pastilhas foram coladas utilizando o produto adesivo plástico indicado em norma. Após a colagem de todas as pastilhas nas faces dos prismas, aguardou-se um período de secagem de no mínimo quatro horas antes da realização o ensaio. Os equipamentos, utensílios e materiais utilizados durante a preparação e na execução do ensaio, bem como os prismas cortados e com as pastilhas coladas, estão ilustrados na FIGURA 41a e FIGURA 41b, respectivamente.

FIGURA 41 – Preparo dos prismas para ensaio de aderência: equipamentos, utensílios e materiais utilizados na realização do ensaio (a); pastilhas metálicas coladas sobre as áreas delimitadas (b)

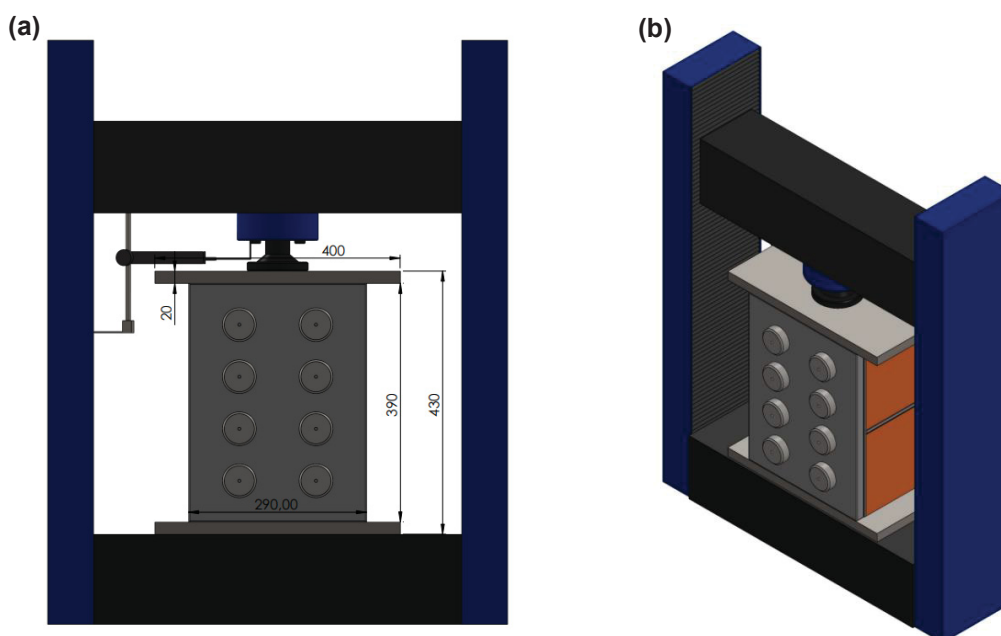


FONTE: A autora (2024).

3.2.6.4 Execução do ensaio

A partir da definição dos deslocamentos e com os prismas previamente preparados, estes foram submetidos à aplicação dos deslocamentos para determinação simultânea do seu módulo de deformação e da resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa aplicados sobre eles. Para isso, os prismas foram posicionados de forma centralizada na máquina universal de ensaios da marca EMIC, conforme ilustrado na representação da FIGURA 42.

FIGURA 42 – Representação do posicionamento do prisma na máquina universal de ensaios EMIC: vista frontal (a); vista ortogonal (b)



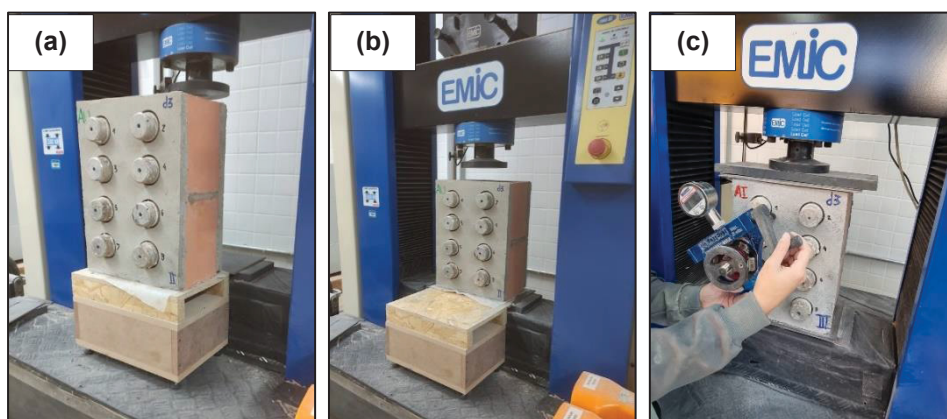
FONTE: A autora (2024).

Sequencialmente, os procedimentos detalhados para a execução do ensaio foram os seguintes:

- o prisma foi transportado cuidadosamente da mesa para a máquina universal de ensaios na posição vertical, de forma manual, apoiado em um suporte de madeirite;
- o prisma foi posicionado sobre uma caixa de madeirite nivelada para alinhar a altura da base com a da máquina universal de ensaios (FIGURA 43a);
- o plástico na base do prisma foi deslizado para centralizá-lo na máquina, minimizando interferências (FIGURA 43b);

- uma placa de aço de 20 mm foi colocada sobre a base inferior e superior do prisma, para distribuir uniformemente a carga vertical aplicada pelo pistão vertical;
- um defletômetro eletrônico (EMIC modelo EE05, com faixa de medição de 0 à 12,5 mm e curso útil de 12,5 mm) foi posicionado, a fim de determinar com precisão o deslocamento do prisma;
- a compressão do prisma foi iniciada e realizada a uma velocidade constante de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s, conforme especificado pela NBR 15270-2 (ABNT, 2023);
- ao atingir o deslocamento limite previamente estabelecido (2 mm, 3 mm ou 4 mm), o pistão da máquina permaneceu em repouso, mantendo o prisma sob tensão e deslocamento constante pré-determinado;
- com o prisma submetido à aplicação do deslocamento, foi realizado o ensaio de resistência de aderência à tração em ambas as faces do prisma, usando o aparelho para arrancamento hidráulico manual (com indicação digital de força e memória de pico, capacidade de 1500 kgf e resolução de 1 kgf) (FIGURA 43c);
- após a ruptura dos 16 (dezesesseis) corpos de prova de argamassa de revestimento, deu-se prosseguimento à compressão do prisma com uma velocidade constante de $(0,05 \pm 0,01)$ MPa/s até que ocorresse a sua ruptura.

FIGURA 43 – Execução do ensaio de aderência com aplicação de deslocamento: prisma sobre suporte (a); prisma sobre a máquina universal de ensaios (b); ensaio em andamento (c)



FONTE: A autora (2024).

Devido à disponibilidade limitada de trinta e duas pastilhas metálicas, foi possível preparar apenas dois prismas simultaneamente. Assim, às 6:00 horas da manhã, as pastilhas foram fixadas em dois prismas, aguardando-se o período de secagem de quatro horas. Por volta das 12:00 horas, o ensaio foi realizado. Posteriormente, a cola das pastilhas metálicas foi removida. Para facilitar esse

processo, as pastilhas foram colocadas em um forno tipo mufla a uma temperatura de 300°C por cerca de dez minutos. Após esse período, as pastilhas foram retiradas do forno e a cola foi removida com o auxílio de uma espátula. Em seguida, o processo de colagem das pastilhas foi repetido em outros dois prismas, que foram ensaiados por volta das 17:00 horas. Esse procedimento foi repetido mais uma vez, com a última remessa sendo ensaiada por volta das 22:00 horas. Após os ensaios, os prismas foram preparados para continuar os experimentos no dia seguinte. Desse modo, uma média de oito prismas foram ensaiados por dia, de tal modo que a conclusão desta parte experimental teve a duração de aproximadamente 10 dias, considerando os ensaios preliminares.

3.2.7 Apresentação dos resultados e análise estatística

No intuito de apurar a confiabilidade na análise e interpretação dos dados, os valores individuais de cada determinação passaram por uma identificação de valores espúrios, considerados dados não legítimos, e que interfeririam na interpretação dos resultados dos ensaios. Os resultados obtidos foram analisados com base em critérios estatísticos: medidas de tendência central, desvio padrão e coeficiente de variação.

Foi realizada uma análise de variância (ANOVA), com nível de confiança de 95%, para verificar a existência de diferenças significativas nas diferentes propriedades das argamassas, blocos cerâmicos e prismas. Além disso, o teste t para pares foi aplicado para realizar comparações específicas, proporcionando uma análise mais detalhada das diferenças entre os grupos.

Durante a execução dos ensaios sobre os prismas, os dados foram armazenados automaticamente pelo sistema de aquisição de dados da máquina universal de ensaios EMIC. Os módulos de deformação dos prismas foram determinados a partir das curvas tensão versus deformação, considerando a faixa de tensão entre 5% e 30% da resistência à compressão de ruptura, conforme especificado na NBR 16868-3 (ABNT, 2020). Ainda, considerando que as deformações atuantes no prisma, com a aplicação dos deslocamentos d3 e d4 para execução simultânea do ensaio de aderência, encontravam-se na fase plástica da curva, nesses pontos, o módulo de deformação foi calculado considerando a razão entre a tensão atuante e a respectiva deformação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios realizados, correspondentes às variáveis de resposta do programa experimental. Esses resultados foram divididos em três tópicos. O primeiro tópico aborda as propriedades mecânicas dos materiais constituintes dos prismas (bloco e argamassas) e suas influências no desempenho mecânico dos prismas. O segundo tópico apresenta os resultados da resistência de aderência à tração das argamassas em condições normais, bem como sob a aplicação de deslocamentos nos prismas, discutindo suas relações com as propriedades físicas do substrato, e com as propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas. Por fim, o terceiro tópico mostra os resultados relacionados ao módulo de deformação, resiliência e tenacidade dos prismas, e suas relações com desempenho da aderência dos revestimentos de argamassas.

4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS BLOCOS E ARGAMASSAS E SUAS INFLUÊNCIAS NO DESEMPENHO DOS PRISMAS

O desempenho dos prismas foi influenciado pela aplicação dos revestimentos, devido às diferentes características das argamassas. Nesta seção, é apresentada a caracterização dos elementos constituintes dos prismas, com foco na deformabilidade dos materiais e sua influência na resistência à compressão, no módulo de deformação e na tenacidade dos prismas.

4.1.1 Propriedades geométricas e mecânicas dos blocos cerâmicos

A caracterização individual dos blocos cerâmicos visa contribuir para o entendimento do desempenho dos prismas sob compressão. Os resultados de caracterização geométrica dos blocos cerâmicos, incluindo a média, o desvio padrão (DP) e os respectivos coeficientes de variação (CV) estão apresentados na TABELA 8.

TABELA 8 – Características geométricas dos blocos cerâmicos

Características geométricas	Média	DP	CV (%)
Largura (mm)	137,5	0,3	0,2
Altura (mm)	188,5	0,6	0,3
Comprimento (mm)	287,9	0,8	0,3
Espessura das paredes externas (mm)	8,5	0,2	1,9
Espessura dos septos (mm)	8,3	0,2	2,5
Área bruta (mm ²)	39587	123,9	0,3
Área líquida (mm ²)	17521	65,5	0,4

FONTE: A autora (2024).

Em relação às características geométricas dos blocos cerâmicos, os valores médios das dimensões efetivas (largura, altura e comprimento) atenderam aos requisitos de tolerância individual de ± 3 mm estabelecido pela NBR 15270-1 (ABNT, 2023), para bloco cerâmico com dimensões nominais de (140×190×290) mm. A espessura das paredes externas e dos septos dos blocos também atenderam aos requisitos da referida norma, que exige valor mínimo de 7 mm e 6 mm, respectivamente. Os resultados individuais das características geométricas estão apresentados no Apêndice A, na TABELA A1, TABELA A2 e TABELA A3.

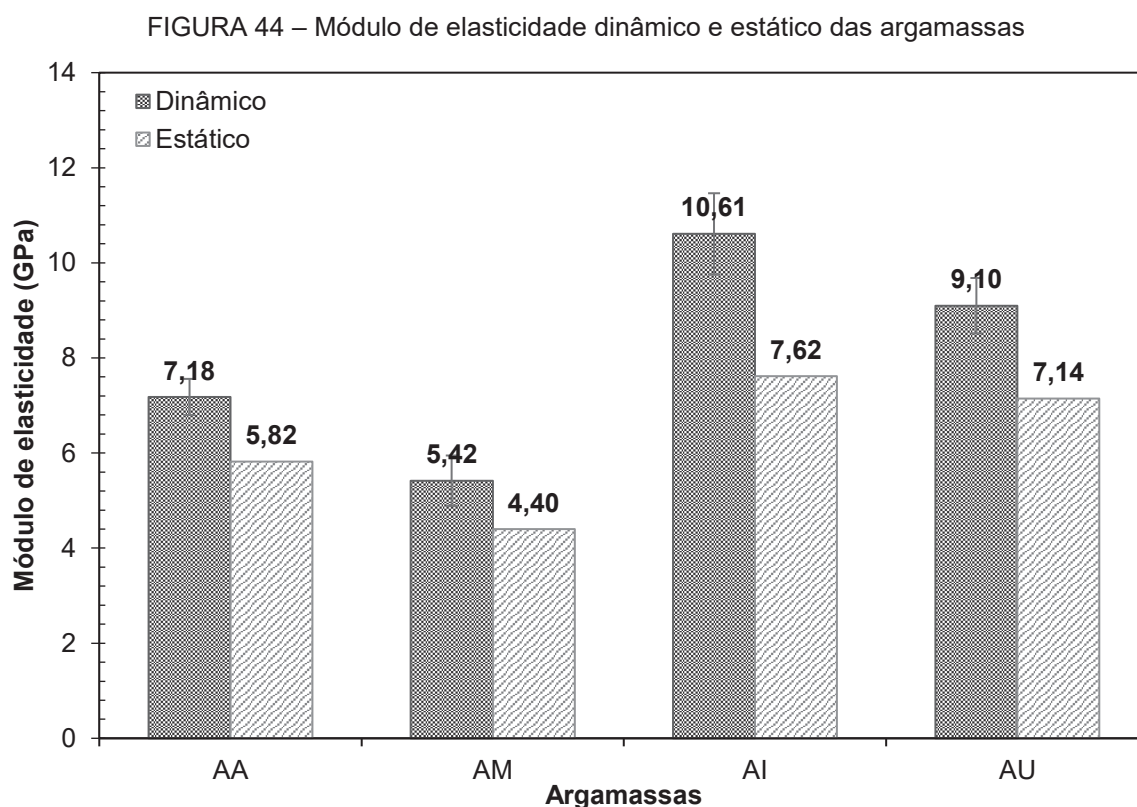
Quanto à caracterização mecânica, os blocos cerâmicos apresentaram uma resistência média à compressão (f_{bm}) de 7,4 MPa e resistência característica (f_{bk}) de 6,0 MPa, atendendo o requisito mínimo de 4,0 MPa, de acordo com a NBR 15270-1 (ABNT, 2023), para bloco cerâmico utilizado na alvenaria racionalizada de vedação, com furos verticais. O módulo de elasticidade dos blocos cerâmicos foi determinado em 3,4 GPa por meio da curva tensão versus deformação. Os resultados individuais dos ensaios mecânicos estão apresentados no Apêndice A, na TABELA A4.

4.1.2 Deformabilidade das argamassas

Nesta seção, são apresentados os resultados dos módulos de elasticidade das argamassas em condições normais, bem como suas relações com as propriedades físicas e mecânicas.

4.1.2.1 Módulo de elasticidade dinâmico e estático das argamassas

Um módulo de elasticidade dinâmico adequado para argamassas indica que estas possuirão flexibilidade necessária para acomodar pequenas movimentações e deformações sem causar fissuras ou desprendimentos, o que é vital para a integridade do revestimento ao longo do tempo. Diante disso, os resultados médios dos módulos de elasticidade dinâmico (E_d) e estático (E_s) das argamassas desta pesquisa estão apresentados na FIGURA 44. Os desvios padrão do módulo dinâmico estão representados pelas barras de erros. Os resultados individuais de cada amostra para esta propriedade são mostrados na TABELA B1, do Apêndice B. O módulo de elasticidade estático das argamassas, por sua vez, foi obtido através do coeficiente angular da reta média de tensão versus deformação dos corpos de prova e, por isso, não foi possível realizar a análise estatística dos resultados obtidos.



FONTE: A autora (2024).

Com base na análise de variância (ANOVA), foi possível verificar diferenças significativas no módulo de elasticidade dinâmico entre as argamassas de revestimento mista, industrializada e estabilizada, conforme apresentado na TABELA D1, do Apêndice D. Uma análise estatística entre os pares de argamassas

industrializada e estabilizada, realizada por meio do teste t, confirmou que há diferenças significativas para estas propriedades entre ambas, como mostram os dados da TABELA 9.

TABELA 9 – Teste t do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas industrializada e estabilizada

Argamassas	AI	AU
Média	10,61	9,10
Variância	0,73	0,34
Observações	6	6
Hipótese da diferença de média	0	
gl	9	
Stat t	3,58	
P(T<=t) bi-caudal	0,006	< 0,05
t crítico bi-caudal	2,26	
Análise estatística	Há diferença significativa	

FONTE: A autora (2024).

Entre as argamassas analisadas, a argamassa mista apresentou o menor valor médio para o módulo de elasticidade dinâmico. Em relação à argamassa mista, os módulos de elasticidade dinâmico das argamassas industrializada e estabilizada apresentaram aumentos em termos de 76% e 87%, respectivamente. Kebhard; Kazmierczak (2017) encontraram valores entre 8,14 GPa e 10,99 GPa para o módulo de elasticidade dinâmico de argamassa estabilizadas. Trevisol Jr. *et al.* (2015), em um estudo comparativo entre argamassas estabilizadas, industrializadas e produzidas em obra, encontraram valores entre 8,37 GPa e 10,40 GPa para argamassas estabilizadas e entre 9,34 GPa e 10,21 GPa para argamassas industrializadas, referente à mesma propriedade.

A NBR 13281-1 (ABNT, 2023) estabelece a classificação das argamassas de revestimento de acordo com os requisitos de módulo de elasticidade dinâmico em quatro classes: E1, E2, E3 e E4, com intervalos decrescentes de módulos de elasticidade, variando entre 12000 e 7000 MPa. Segundo a norma, valores de módulo de elasticidade dinâmico acima de 14000 MPa não são aceitos para argamassas inorgânicas de revestimento. Na TABELA 10 estão apresentadas as classes nas quais enquadram-se as argamassas de revestimento desta pesquisa.

TABELA 10 – Classificação das argamassas quanto ao requisito de módulo de elasticidade dinâmico

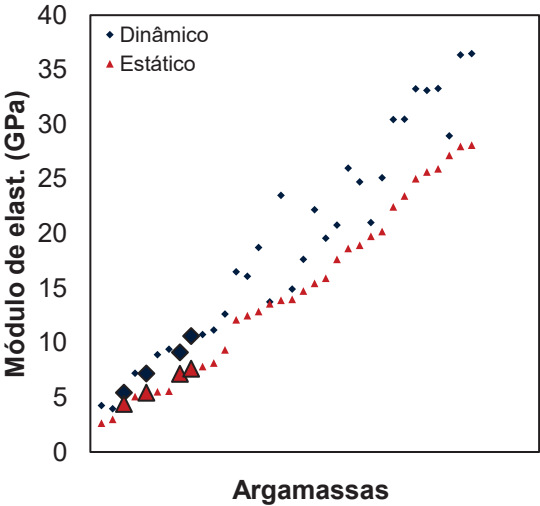
Valores encontrados nesta pesquisa		Classificação pela NBR 13281:2023	
Argamassa	E _d (MPa)	Classe	Intervalo E _d (MPa)
AM	5420	E4	E _d ≤ 7000 MPa
AI	10610	E2	9500 < E _d ≤ 12000
AU	9100	E3	7000 < E _d ≤ 9500

Nota: E_d (módulo de elasticidade dinâmico).

FONTE: A autora (2024).

Em relação ao módulo de elasticidade estático, pesquisas anteriores também encontraram valores ligeiramente inferior em comparação ao módulo de elasticidade para mesmas argamassas (Haach *et al.*, 2013; Carrasco *et al.*, 2017; Marques *et al.*, 2019; Makoond *et al.*, 2020), como mostrado na FIGURA 45, em que os marcadores em destaque representam os resultados desta pesquisa. Coeficientes de determinação de 0,97 foi obtido ao correlacionar o módulo de elasticidade estático com o dinâmico entre as argamassas desta pesquisa.

FIGURA 45 – Resultados de módulos de elasticidade estático e dinâmico



FONTE: A autora (2024).

4.1.2.2 Módulo de elasticidade e as propriedades mecânicas das argamassas

No estado endurecido, a resistência mecânica das argamassas de revestimento é importante devido à sua relação com outras propriedades, como a elasticidade refletida na capacidade de suportar esforços de tração e compressão. Os

resultados médios da resistência à tração na flexão e à compressão, bem como os desvios padrão e os coeficientes de variação das amostras estão apresentados na TABELA 11. Os resultados individuais de cada amostra para estas propriedades são mostrados na TABELA B2 e na TABELA B3, do Apêndice B, respectivamente.

TABELA 11 – Propriedades mecânicas das argamassas

Argamassa	Resistência à tração na flexão			Resistência à compressão		
	Média (MPa)	Desv. Pad. (MPa)	C.V. (%)	Média (MPa)	Desv. Pad. (MPa)	C.V. (%)
AA	2,15	0,18	8,27	5,17	0,29	5,60
AM	1,04	0,09	8,21	3,34	0,18	5,32
AI	2,77	0,16	5,94	7,19	0,30	4,82
AU	2,42	0,16	6,46	6,17	0,15	2,06

FONTE: A autora (2024).

Os resultados indicam que, entre as argamassas estudadas, a argamassa mista apresentou os menores valores para as resistências mecânicas. É importante observar que a resistência mecânica de produtos que utilizam cal como aglomerante tendem a ser muito inferior àquela com o uso de cimento Portland, devido à dificuldade de produzir sistemas com baixa porosidade (Cincotto *et al.*, 2007).

Em relação às argamassas estabilizadas, o aditivo incorporador de ar utilizado em sua composição conferiu-lhes melhor trabalhabilidade e reduziu o consumo de água de amassamento, o que pode consequentemente resultar em ganhos de resistências mecânicas. A argamassa utilizada no assentamento apresentou uma resistência à compressão inferior à da argamassa de revestimento, conforme esperado. Isso se deve ao fato de que foi solicitado à central dosadora uma argamassa que cumprisse os requisitos da NBR 13281-2 (ABNT, 2023), os quais estipulam que a resistência à compressão deve estar entre 2 MPa e 5 MPa.

Com base na análise de variância (ANOVA), foi possível verificar diferenças significativas na resistência à tração na flexão e na resistência à compressão entre as argamassas de revestimento mista, industrializada e estabilizada, conforme apresentado na TABELA B2, do Apêndice D. Uma análise estatística entre os pares de argamassas industrializada e estabilizada, realizada por meio do teste t, confirmou que há diferenças significativas nessas propriedades entre ambas, como mostram os dados da TABELA 12.

TABELA 12 – Teste t das propriedades mecânicas das argamassas

Propriedades	Resistência à tração na flexão		Resistência à compressão	
	AI	AU	AI	AU
Média	2,77	2,42	7,19	6,17
Variância	0,03	0,02	0,02	0,09
Observações	6	5	7	6
Hipótese da diferença de média	0		0	
gl	9		7	
Stat t	3,67		7,63	
P(T<=t) bi-caudal	0,005	< 0,05	1,23E-04	< 0,05
t crítico bi-caudal	2,26		2,36	
Análise estatística	Há diferença significativa		Há diferença significativa	

FONTE: A autora (2024).

A NBR 13281-1 (ABNT, 2023) estabelece a classificação das argamassas de revestimento quanto aos requisitos de resistência à tração na flexão (R_f) em quatro classes: R1, R2, R3 e R4, com intervalos crescentes e valores entre 0,5 MPa e 3,0 MPa. Na TABELA 13 estão apresentadas as classes nas quais enquadram-se as argamassas desta pesquisa.

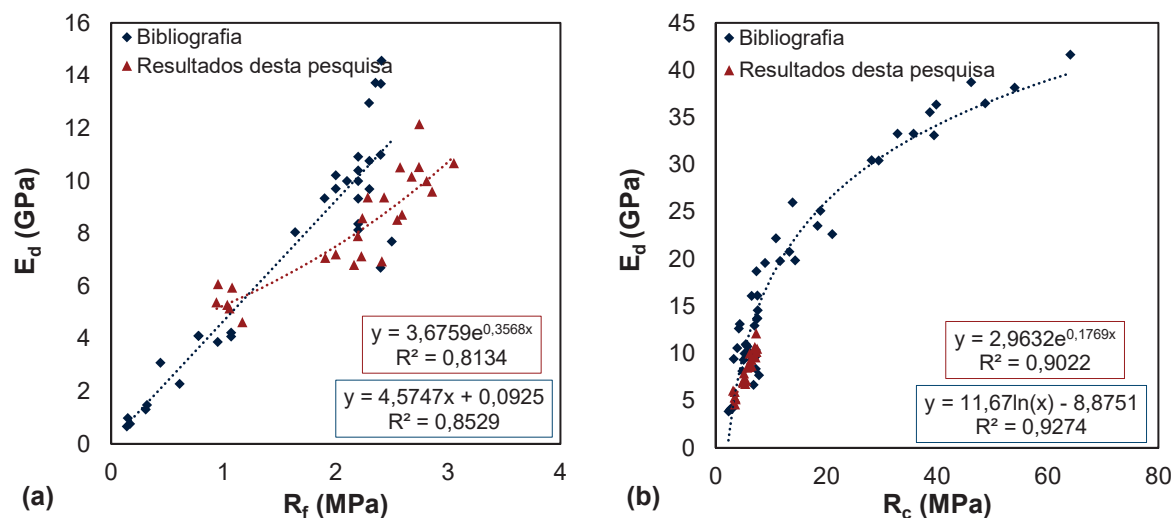
TABELA 13 – Classificação das argamassas quanto ao requisito de resistência à tração na flexão

Valores encontrados nesta pesquisa		Classificação pela NBR 13281:2023	
Argamassa	R_f (MPa)	Classe	Intervalo R_f (MPa)
AM	1,04	R2	$0,5 < R_f \leq 1,5$
AI	2,77	R3	$1,5 < R_f \leq 3,30$
AU	2,42	R3	$1,5 < R_f \leq 3,30$

FONTE: A autora (2024).

A partir dos resultados reportados em pesquisas anteriores para o módulo de elasticidade dinâmico, muitas pesquisas apresentaram também resultados das resistências mecânicas das argamassas, referentes à resistência à tração na flexão e à resistência à compressão (Silva; Campiteli, 2008; Haach *et al.*, 2013; Valentini *et al.*, 2024). A FIGURA 46 mostra as correlações existentes entre estas propriedades conforme os valores reportados por outras pesquisas, juntamente com os resultados encontrados neste trabalho.

FIGURA 46 – Relações entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências: à tração na flexão (a) e à compressão (b)



FONTE: A autora (2024).

Coefficientes de determinação de 0,81 e 0,90 foram obtidos ao correlacionar o módulo de elasticidade dinâmico com a resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas desta pesquisa, respectivamente. Isso sugere que podem ser estabelecidas relações razoavelmente boas entre o módulo e as resistências mecânicas, como já demonstrado por pesquisas anteriores e reportados pelos coeficientes de determinação de 0,85 e 0,92.

As argamassas de revestimento foram avaliadas quanto à sua suscetibilidade à fissuração, com base em critérios estabelecidos pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB, 1993), considerando tanto o valor individual do módulo de elasticidade (E_d) quanto a razão entre este módulo e a resistência à tração na flexão das argamassas (E_d / R_f), como apresentado na TABELA 14.

TABELA 14 – Avaliação da susceptibilidade à fissuração (SF) das argamassas de revestimento

Argamassa	Módulo de elasticidade (MPa)			Módulo de elasticidade / resistência à tração na flexão		
	Pesquisa E_d	Critério CSTB	SF	Pesquisa E_d / R_f	Critério CSTB	SF
AM	5415	$E_d \leq 7000$	Baixa	5216	$E/R_f \geq 3500$	Alta
AI	10610	$7000 < E_d < 12000$	Média	3824	$E/R_f \geq 3500$	Alta
AU	9098	$7000 < E_d < 12000$	Média	3762	$E/R_f \geq 3500$	Alta

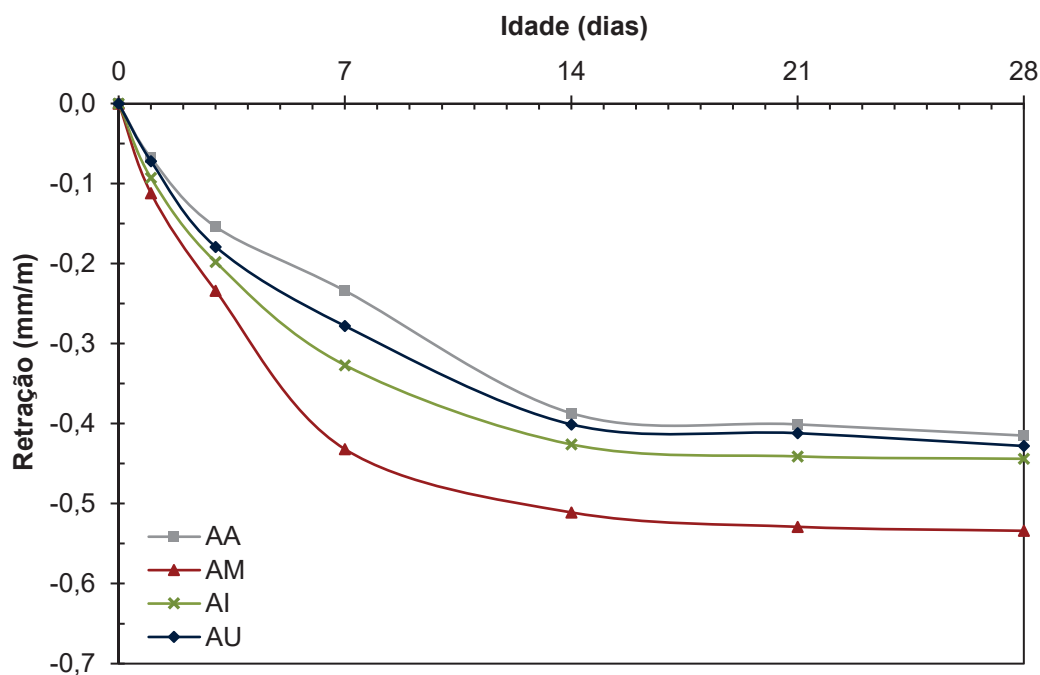
FONTE: A autora (2024), baseado nos requisitos do CSTB (1993)

Ao analisar individualmente o módulo de elasticidade, observa-se que a argamassa mista, por ser mais flexível, apresenta menor suscetibilidade à fissuração. Por outro lado, as argamassas industrializada e estabilizada, com valores intermediários de módulo de elasticidade, exibem um nível médio de suscetibilidade. No entanto, quando se considera a análise conjunta do módulo de elasticidade com a resistência à tração na flexão, todas as argamassas são classificadas como altamente suscetíveis à fissuração. Isso se deve aos baixos valores de resistência à tração na flexão apresentados por todas as argamassas, resultando em uma razão elevada entre essas duas propriedades.

4.1.2.3 Módulo de elasticidade dinâmico e a retração das argamassas

Dentre os possíveis esforços atuantes no revestimento, pode-se citar aqueles gerados pela retração da própria argamassa durante o processo de endurecimento, resultante da redução de volume pela hidratação do cimento e perda de água. A FIGURA 47 apresenta os resultados de variação dimensional das argamassas de revestimento, em que os valores negativos indicam retração.

FIGURA 47 – Retração das argamassas



FONTE: A autora (2024).

A análise das curvas de retração revela que as argamassas industrializada (AI) e estabilizada (AU) apresentam menor retração em comparação com argamassa mista (AM). Isso possivelmente está relacionado à composição dessas argamassas, que geralmente são dosadas visando melhorias no comportamento do revestimento em relação ao surgimento de fissuras, com a incorporação de aditivos químicos para essa finalidade (Bellei; Caten, 2019).

A NBR 13281-1 (ABNT, 2023) estabelece a classificação das argamassas quanto à retração (ε_i). De acordo com as faixas estabelecidas, todas as argamassas de revestimento estudadas nesta pesquisa enquadraram-se na classe VD4, ou seja, $0,0 \geq \varepsilon_i \geq 0,70$ mm/m. Quanto à classificação das argamassas para assentamento de unidades de alvenaria (blocos e tijolos), com e sem função estrutural (vedação), a NBR 13281-2:2023 estabelece que ε_i deve ser menor ou igual a 0,80 mm/m e, portanto, a argamassa AA atendeu ao requisito.

Os valores individuais de retração foram analisados também quanto a susceptibilidade à fissuração de acordo com recomendações do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment*. A classificação da susceptibilidade à fissuração se dá em três classes sendo os valores menores de retração (DI/I) menores que 0,7 mm/m classificados como baixa susceptibilidade; valores entre 0,7 a 1,2 mm/m classificados como média susceptibilidade e valores maiores que 1,2 mm/m classificados como alta susceptibilidade. Todas as argamassas desta pesquisa enquadraram-se na primeira classificação, com baixa susceptibilidade à fissuração.

É relevante salientar que nas argamassas de revestimento, além do fenômeno de retração próprio inerente aos materiais cimentícios, há também a influência da perda de água não apenas por evaporação, mas também por sucção pelo substrato. Por essa razão, o estudo da retração torna-se mais complexo, demandando uma abordagem que considere fatores intrínsecos e extrínsecos relacionados ao desempenho do revestimento e da construção como um todo (Bastos, 2001).

A fissuração, uma anomalia recorrente em revestimentos de argamassa, afeta a qualidade e influencia aspectos estéticos, de conforto e estanqueidade. Para evitá-la, as argamassas devem apresentar simultaneamente baixa retração e módulo de elasticidade, além de alta resistência à tração e aderência. No entanto, a combinação dessas propriedades é, na maioria das vezes, difícil de ocorrer simultaneamente (Farinha *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a NBR 13281-1 (ABNT, 2023) estabelece critérios para argamassas para revestimento quanto aos requisitos conjuntos de variação dimensional e módulo de elasticidade dinâmico. Essa classificação é essencial para diferenciar argamassas de acordo com seu uso pretendido e a altura das edificações onde serão aplicadas, além de especificar aquelas destinadas a finalidades específicas, como o emboço técnico.

A TABELA 15 apresenta os critérios exigidos pela norma para classificação das argamassas de revestimento em quatro classes, assim como as argamassas desta pesquisa que atendem a esses critérios.

TABELA 15 – Critérios para os requisitos de módulo de elasticidade dinâmico e de variação dimensional

Requisito	Critérios por tipo de argamassa			
	ARV-I	ARV-II	ARV-III	AET
E_d (MPa)	E1 a E4	E2 a E4	E3 a E4	E4
Retração (mm/m)	VD1 a VD4	VD2 a VD4	VD3 a VD4	VD4
Argamassa que atende aos requisitos	AM, AI e AU	AM, AI e AU	AM e AU	AM

FONTE: A autora (2024), baseado nos requisitos da NBR 13281-1 (ABNT, 2023).

De acordo com a norma, a classe ARV-I abrange argamassas inorgânicas para revestimento indicadas para uso interno em qualquer tipo de edificação e externo em edificações com altura total de até 10 metros do nível médio da rua da fachada principal, enquanto a classe ARV-II refere-se a argamassas inorgânicas para revestimento destinadas ao uso interno em qualquer tipo de edificação e externo em edificações com altura total de até 60 metros do nível médio da rua da fachada principal. A classe ARV-III, por sua vez, refere-se a argamassas recomendadas para uso interno em qualquer tipo de edificação e externo em edificações com altura superior a 60 metros do nível médio da rua da fachada principal. Já na classe AET, as argamassas são recomendadas para a execução de emboço técnico, destinado a ser utilizado como primeira camada do revestimento de edificações.

No que diz respeito às argamassas desta pesquisa, é possível observar que a argamassa AM está presente em todas as classificações: ARV-I, ARV-II, ARV-III e AET, indicando que seria adequada para aplicações tanto em revestimentos internos quanto externos, em diferentes alturas de edifícios, e também para emboço técnico. A argamassa AI, por sua vez, está presente apenas nas classificações ARV-I e ARV-

II. Isso sugere que o uso da argamassa AI seria mais recomendado para aplicações de revestimento interno e externo em edifícios com alturas moderadas. Já a argamassa AU está presente em todas as classificações, exceto AET. Isso indica que a argamassa AU possui características que permitem uma aplicação mais ampla como revestimento interno e externo, em uma variedade de alturas de edifícios, inclusive com altura superior a 60 metros.

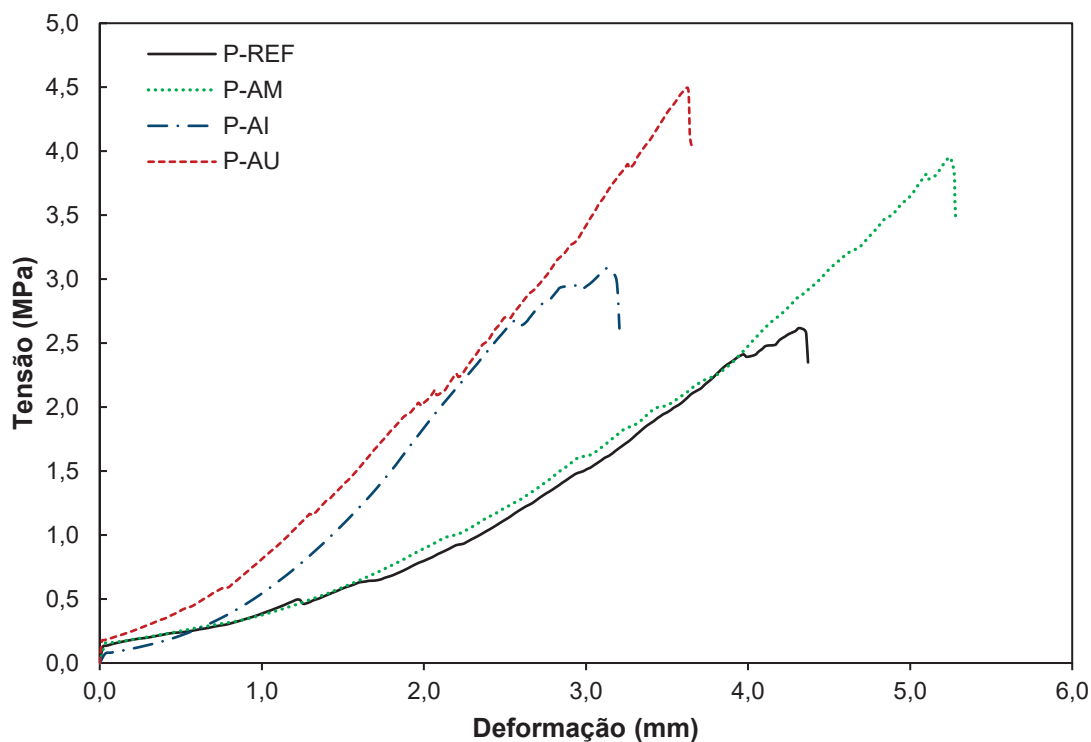
A partir desta classificação da NBR 13281-1 (ABNT, 2023), é observado que argamassas menos deformáveis não são recomendadas para grandes alturas. Isso se deve ao fato de que, devido à sua baixa flexibilidade, elas apresentam menor capacidade de absorver deformações intrínsecas, bem como as impostas por movimentações causadas por agentes externos e pelo substrato.

Essa característica resulta em uma tendência maior à fissuração, o que, por sua vez, permite a infiltração de água e compromete a aderência do revestimento ao substrato, propiciando o descolamento e o surgimento de manifestações patológicas. Nesta pesquisa, a partir dessa análise, a argamassa industrializada mostrou maior tendência para esse comportamento, considerando-se ambas as propriedades analisadas em conjunto (retração e módulo de elasticidade).

4.1.3 Desempenho mecânico dos prismas

Os prismas foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão com o objetivo de definir os deslocamentos a serem utilizados no programa experimental. A FIGURA 48 ilustra as curvas médias de tensão versus deformação dos exemplares de prismas, obtidas a partir da realização deste ensaio.

FIGURA 48 – Curvas tensão versus deformação para os prismas



FONTE: A autora (2024).

Observa-se que a curva dos prismas com aplicação da argamassa mista apresenta-se próxima à dos prismas sem revestimento, no entanto, é perceptível que a aplicação do revestimento permitiu que os prismas suportassem maiores tensões até o momento da ruptura, conferindo-lhes maior resistência à compressão. Sob cargas de compressão, os prismas revestidos com argamassa mista demonstraram maior deformação em comparação aos revestidos com as outras argamassas.

A curva dos prismas revestidos com as argamassas industrializada e estabilizada apresentaram comportamentos mais próximos entre si, porém com inclinações iniciais maiores comparadas aos prismas de referência e aos revestidos com argamassa mista, indicando uma maior rigidez, promovida pelos seus maiores módulos de elasticidades individuais. Nota-se que esses prismas exigiram tensões mais elevadas para promover as mesmas deformações que aqueles revestidos com argamassa mista ou sem revestimento.

Além disso, observa-se que, apesar das rigidezes mais próximas, os prismas revestidos com argamassa industrializada atingiram a ruptura sob tensões inferiores aos prismas revestidos com argamassa estabilizada. Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que as argamassas industrializadas, por terem individualmente

os maiores módulos de elasticidade entre as argamassas analisadas, podem ter encontrado maior dificuldade em acomodar deformações sob ação compressiva, levando à ruptura do revestimento.

A partir das curvas tensão versus deformação, foram determinados os resultados médios de resistência à compressão e dos módulos de deformação dos prismas, os quais estão apresentados na TABELA 16, juntamente com os resultados das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento. Os resultados individuais da resistência à compressão (R_p) e módulo de deformação (E_p) dos prismas estão apresentados na TABELA C1 e TABELA C2, do Apêndice C, respectivamente.

TABELA 16 – Propriedades mecânicas dos prismas

Prismas	Resistência à compressão			Módulo de deformação		
	R_p (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	E_p (GPa)	DP (GPa)	CV (%)
P-REF	2,76	0,19	7,00	3,77	0,24	6,28
P-AM	3,96	0,34	8,57	4,81	0,37	7,65
P-AI	3,01	0,24	8,10	5,79	0,45	7,79
P-AU	4,32	0,22	5,15	8,36	0,53	6,36

Nota: R_p (resistência à compressão do prisma); E_p (módulo de deformação do prisma), DP (desvio padrão); CV (coeficiente de variação).

FONTE: A autora (2024).

Notavelmente, a aplicação dos revestimentos promoveu um aumento na resistência à compressão para todos os prismas. Em relação ao prisma sem revestimento, o maior aumento foi observado com a aplicação da argamassa estabilizada (56,34%), seguida pela argamassa mista (43,58%) e, em menor percentual, pela argamassa industrializada (9,14%).

A análise estatística, realizada entre os pares com resultados mais próximos de resistência à compressão, utilizando o teste t, demonstrou que a aplicação do revestimento de argamassa industrializada não resultou em aumentos significativos na resistência à compressão dos prismas, apesar deste apresentar os maiores valores individuais para as propriedades mecânicas. Além disso, a aplicação dos revestimentos de argamassa mista e estabilizada produziu prismas com resistências à compressão sem diferenças estatisticamente significativas entre si, conforme apresentado na TABELA 17.

TABELA 17 – Teste t da resistência à compressão dos prismas

Argamassas	P-REF	P-AI	P-AM	P-AU
Média	2,76	3,01	3,96	4,32
Variância	0,04	0,06	0,12	0,05
Observações	4	5	5	5
Hipótese	0		0	
gl	7		7	
Stat t	-1,74		-1,94	
P(T<=t) bi-caudal	0,13	> 0,05	0,09	> 0,05
t crítico bi-caudal	2,36		2,36	
Análise estatística	Não há diferença significativa		Não há diferença significativa	

FONTE: A autora (2024).

Apesar de a argamassa mista ter exibido as menores propriedades mecânicas entre as argamassas estudadas, seu comportamento dúctil, com uma ruptura mais tardia, contribuiu para um aumento na resistência à compressão em comparação ao prisma não revestido, de forma semelhante à argamassa estabilizada.

Por outro lado, os aumentos na resistência à compressão dos prismas não refletiram necessariamente em aumentos proporcionais no módulo de deformação dos mesmos. Em comparação com o prisma sem revestimento, os maiores incrementos de rigidez foram obtidos com a aplicação dos revestimentos de argamassa estabilizada (121,71%) seguida pela argamassa industrializada (53,59%) e pela argamassa mista (27,61%). A análise estatística, realizada entre os pares com resultados mais próximos de módulo de deformação, utilizando o teste t, mostrou a existência de diferenças significativas entre eles, como apresentado na TABELA 18.

TABELA 18 – Teste t do módulo de deformação dos prismas

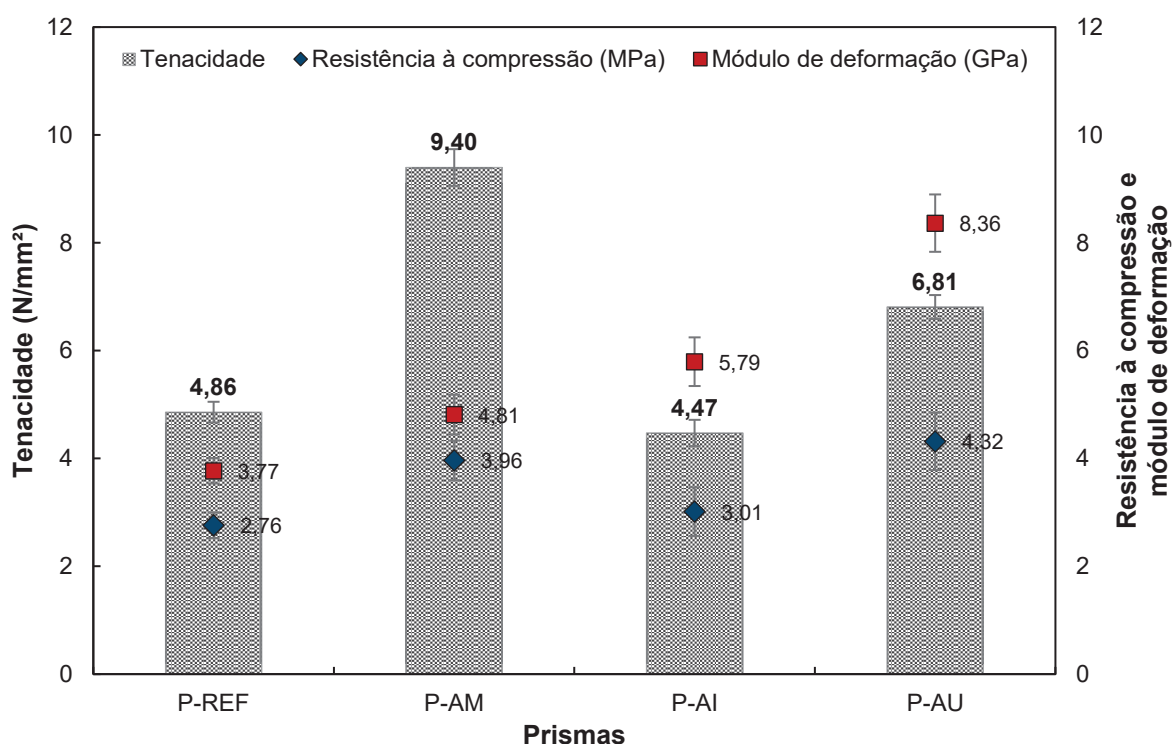
Argamassas	P-REF	P-AM	P-AM	P-AI
Média	3,77	4,81	4,81	5,79
Variância	0,06	0,14	0,14	0,20
Observações	4	5	5	5
Hipótese	0		0	
gl	7		8	
Stat t	-5,13		-3,76	
P(T<=t) bi-caudal	0,001	< 0,05	0,006	< 0,05
t crítico bi-caudal	2,36		2,31	
Análise estatística	Há diferença significativa		Há diferença significativa	

FONTE: A autora (2024).

Esse comportamento pode estar relacionado à rigidez individual das argamassas, já que os módulos de elasticidade mostraram que a argamassa industrializada era a mais rígida, seguida pela argamassa estabilizada e, por último, pela argamassa mista. Nesse sentido, a falta de flexibilidade da argamassa industrializada por ter restringido sua movimentação, com a ocorrência de ruptura a tensões inferiores às dos prismas revestidos com argamassas estabilizada e mista.

A partir das curvas de tensão versus deformação, foi possível determinar a tenacidade dos prismas. Os resultados médios dessa propriedade estão apresentados na FIGURA 49, juntamente com a resistência à compressão e os módulos de deformação, com os respectivos desvios padrão representados pelas barras de erro. Os resultados individuais da tenacidade encontram-se na TABELA C3, do Apêndice C.

FIGURA 49 – Tenacidade, resistência à compressão e módulo de deformação dos prismas



FONTE: A autora (2024).

Os resultados da tenacidade dos prismas seguiram uma tendência semelhante à observada na resistência à compressão. Os prismas revestidos com argamassa mista apresentaram a maior tenacidade, enquanto os revestidos com argamassa industrializada exibiram a menor. Em termos gerais, a tenacidade de um

material dúctil é superior à de um material frágil. Assim, a aplicação da argamassa mista, mais dúctil e flexível, permitiu que o prisma absorvesse mais energia até o ponto de fratura.

Em contrapartida, a análise estatística entre os pares, realizada por meio do teste t, indicou que a aplicação do revestimento de argamassa industrializada não afetou significativamente a tenacidade dos prismas em comparação com a ausência de revestimento, demonstrando não existir diferenças significativas na tenacidade entre ambos, como apresentado na TABELA 19.

TABELA 19 – Teste t da tenacidade dos prismas

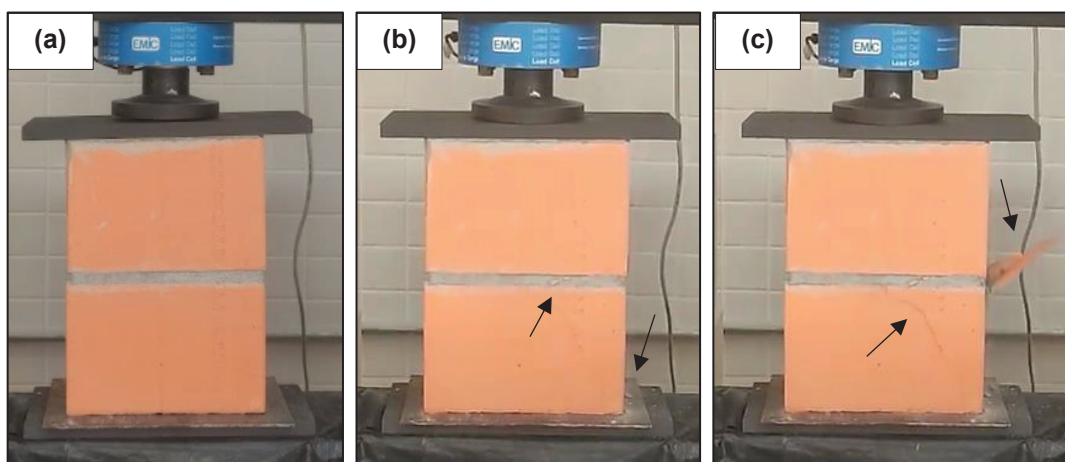
Argamassas	P-REF	P-AI
Média	4,86	4,47
Variância	0,10	0,31
Observações	4	5
Hipótese da diferença de média	0	
gl	7	
Stat t	1,29	
P(T<=t) bi-caudal	0,24	> 0,05
t crítico bi-caudal	2,36	
Análise estatística	Não há diferença significativa	

FONTE: A autora (2024).

4.1.4 Modo de ruptura dos prismas

A análise do modo de ruptura dos prismas foi realizada durante a execução dos ensaios preliminares, para prever seu comportamento nos ensaios simultâneos que foram realizados posteriormente. A FIGURA 50 ilustra o modo de ruptura observado no prisma de blocos cerâmicos sem aplicação de revestimentos.

FIGURA 50 – Modo de ruptura do prisma sem revestimento: íntegro (a), início do esfacelamento da argamassa (b), fissuração e ruptura do bloco (c)

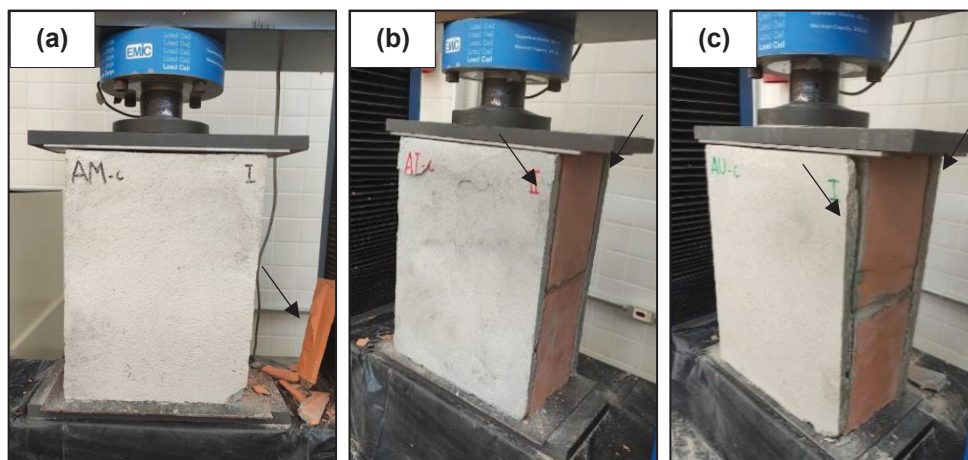


FONTE: A autora (2024).

Quando o prisma está submetido à compressão, a distribuição de tensões ao longo dos materiais é determinada pela relação entre as resistências e rigidezes dos materiais constituintes, como o bloco e a argamassa. Nessa configuração, a junta de argamassa passa a trabalhar sob um estado de confinamento, podendo levar o bloco a sofrer compressão ou tração. A argamassa de assentamento utilizada nesta pesquisa apresentava uma resistência média à compressão de 5,17 MPa, inferior tanto à resistência média (7,4 MPa) quanto à resistência característica (6,0 MPa) do bloco. Dessa forma, sob compressão, a junta de argamassa apresentou maior tendência a expandir lateralmente em relação aos blocos. A ruptura do prisma caracterizou-se pelo esfacelamento da argamassa (FIGURA 50a), seguido pelo surgimento de fissuras verticais no bloco e sua ruptura completa (FIGURA 50b).

Por outro lado, com a aplicação dos revestimentos de argamassa, as rupturas apresentaram particularidades possivelmente relacionadas às diferentes características das argamassas de revestimento. Essas rupturas, caracterizadas por falhas frágeis e perda imediata da capacidade de resistência do sistema logo após atingir a carga máxima, mostraram variações específicas. A FIGURA 51 ilustra os modos de ruptura observados nos prismas de blocos cerâmicos com revestimentos de argamassa.

FIGURA 51 – Modos de ruptura dos prismas com revestimento: argamassa mista (a), argamassa industrializada (b); argamassa estabilizada (c)



FONTE: A autora (2024).

Observou-se que, nos prismas revestidos com argamassa mista, o processo de fissuração ocorreu inicialmente de maneira similar ao prisma sem revestimento, iniciando com o esfacelamento da argamassa de assentamento, seguido pela fissuração e ruptura dos blocos (FIGURA 50a). Somente após essa etapa, foi observada a fissuração e ruptura das duas camadas de revestimento de argamassa.

Este comportamento pode estar relacionado ao fato de que, a aplicação da argamassa de revestimento mista promoveu um aumento da capacidade de suporte do prisma, no entanto, devido à sua flexibilidade, não promoveu rigidez significativamente maior ao prisma. Desta forma, sob compressão, devido aos movimentos diferenciais dos materiais, os revestimentos de argamassa demonstraram a capacidade de absorver as deformações, resultando em fissuras na sua superfície, precedida da ruptura dos blocos.

Em contrapartida, os modos de ruptura observados nos prismas revestidos com as argamassas industrializada e estabilizada foram similares entre si, caracterizados pelo descolamento das camadas de revestimento de argamassa do bloco antes da ruptura deste (FIGURA 51b, c). Esse tipo de ruptura possivelmente está relacionado às características individuais das argamassas. A argamassa industrializada demonstrou ser a mais rígida, com módulo de elasticidade estático de 7,62 GPa, enquanto a argamassa estabilizada apresentou um valor de 7,14 GPa. Portanto, sob compressão, essas argamassas, sendo mais rígidas que o bloco,

possivelmente não tiveram capacidade absorver as deformações sob as mesmas solicitações, resultando na ruptura prévia dos revestimentos e no seu descolamento.

É importante destacar que o contato direto entre as extremidades do revestimento de argamassa e as placas metálicas utilizadas para distribuir os esforços nos prismas pode causar uma concentração de tensões nessa área, aumentando a tendência ao descolamento do revestimento nessas regiões.

4.2 RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA SOB ATUAÇÃO DE DESLOCAMENTOS NOS PRISMAS

Diversos fatores influenciam o desempenho da aderência das argamassas. Nesta seção, são apresentados os resultados para essa propriedade, avaliada tanto em condição normal quanto sob a aplicação de deslocamentos nos prismas. Além disso, buscou-se estabelecer relações entre a aderência e as propriedades da argamassa nos estados fresco e endurecido, levando em consideração também as características físicas do substrato cerâmico.

4.2.1 Propriedades físicas dos substratos

A caracterização física dos substratos visa contribuir para a compreensão do desempenho da aderência dos revestimentos na interface bloco/argamassa. No que diz respeito às características físicas dos substratos, o índice de absorção de água (AA) dos blocos cerâmicos foi determinado em 21%, atendendo ao exigido pela NBR 15270-1 (ABNT, 2023), que estabelece que este não deve ser inferior a 8% nem superior a 21%.

Quanto à absorção de água inicial (AAI), o bloco cerâmico apresentou um valor médio de 9,97 (g/194².cm²)/min. De acordo com a NBR 15270-1 (ABNT, 2023), componentes com absorção de água inicial que excedam 30 (g/194².cm²)/min devem ter o índice reduzido abaixo deste valor por molhagem, antes do uso no assentamento ou antes de ser executado o revestimento, de forma a melhorar sua eficiência. Substratos secos tendem a criar mais vazios na interface devido à perda de água, o que reduz a relação água/cimento efetiva e o grau de hidratação do material aplicado (Stolz; Masuero, 2015).

Após a aplicação da camada de chapisco, o bloco cerâmico apresentou um valor médio para absorção de água inicial de 19,67 (g/194².cm²)/min. O chapisco após aplicado sobre o bloco cerâmico potencializa a absorção inicial (Zanelato *et al.*, 2019). Os resultados individuais dos corpos de prova utilizados na determinação da absorção de água e absorção de água inicial para o bloco normal, bem como para o bloco com aplicação de chapisco, estão apresentados nas TABELA A5, TABELA A6 e TABELA A7, do Apêndice A, respectivamente.

Ainda relacionado às características físicas, os resultados da rugosidade das superfícies dos substratos de bloco cerâmico e chapisco aplicado sobre o bloco cerâmico, incluindo o valor médio (R_m), mínimo (R_q) e máximo (R_z), bem como o desvio padrão e os respectivos coeficientes de variação estão apresentados na TABELA 20. O ensaio também foi reproduzido para a base metálica normatizada utilizada no ensaio *squeeze-flow*, a critério de caracterização.

TABELA 20 – Rugosidade das superfícies dos substratos

Substrato	Rugosidade			Valor médio (μm)	DP (μm)	CV (%)
	R _m (μm)	R _q (μm)	R _z (μm)			
Base metálica	0,29	0,47	0,53	0,30	0,01	3,89
	0,29	0,46	0,51			
	0,31	0,49	0,54			
Bloco cerâmico	1,82	2,40	9,42	1,74	0,10	5,91
	1,63	2,01	9,16			
	1,78	2,24	9,25			
Chapisco	18,42	21,62	80,46	17,20	1,11	6,45
	16,93	19,80	72,03			
	16,25	18,78	69,78			

Nota: R_m (valor médio), R_q (valor mínimo), R_z (valor máximo), DP (desvio-padrão) e CV (coeficiente de variação).

FONTE: A autora (2024).

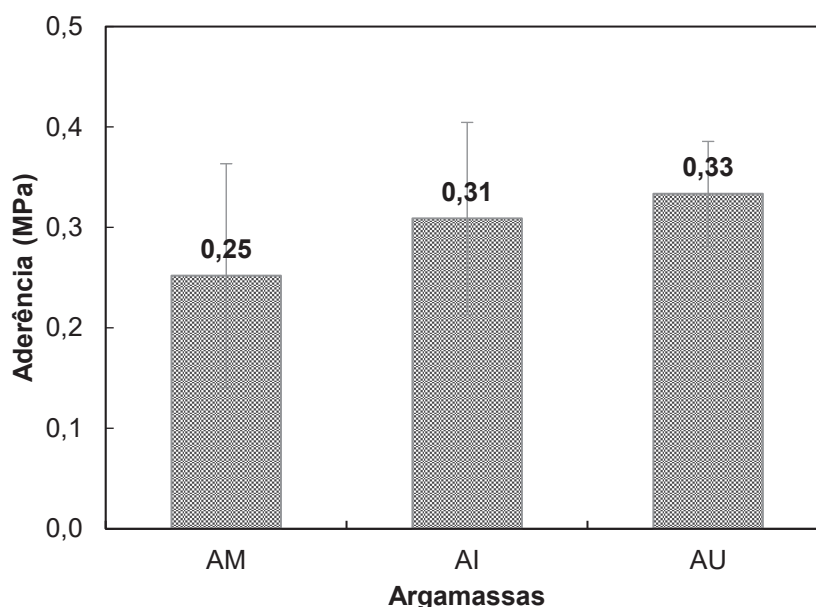
A captura bidimensional de pontos na superfície ao longo de uma linha reta com milímetros de extensão, tipicamente extrapolada para o bloco inteiro, pode gerar um valor de rugosidade média que pode não ser representativo da rugosidade de toda a superfície (Valentini *et al.*, 2022). Em vista disso, as leituras foram repetidas para cada superfície para garantir maior confiabilidade nos resultados. Conforme o esperado, a rugosidade apresentada pelos substratos foi crescente, na ordem da base

metálica, bloco cerâmico e chapisco, com diferenças significativas entre eles, como mostram os dados da ANOVA apresentados na TABELA D3, do Apêndice D.

4.2.2 Resistência de aderência à tração das argamassas

A resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento foi avaliada em diferentes condições. Inicialmente, os resultados considerando a condição sem aplicação de deslocamentos, são apresentados na FIGURA 52, com os desvios padrão da amostra representados pelas barras de erro. Os resultados individuais de cada amostra para a argamassa mista, industrializada e estabilizada são mostrados na TABELA C4, TABELA C5 e TABELA C6, do Apêndice C, respectivamente.

FIGURA 52 – Resistência de aderência à tração das argamassas aplicadas a substrato cerâmicos aos 28 dias



FONTE: A autora (2024).

A análise estatística, realizada por meio do teste t, revelou que não há diferença significativa na aderência entre as argamassas industrializada e estabilizada, entretanto, ambas diferem significativamente da argamassa mista, conforme apresentado na TABELA 21.

TABELA 21 – Resultados do teste t para aderência das argamassas

Argamassas	P-AM-d0	P-AI-d0	P-AM-d0	P-AU-d0	P-AI-d0	P-AU-d0
Média	0,25	0,31	0,25	0,33	0,31	0,33
Variância	0,002	0,009	0,002	0,003	0,009	0,003
Observações	38	34	38	34	34	34
Hipótese	0		0		0	
gl	47		67		51	
Stat t	-3,149		-6,932		-1,312	
P(T<=t) bi-caudal	2,84E-03	< 0,05	2,00E-09	< 0,05	0,195	> 0,05
t crítico bi-caudal	2,012		1,996		2,008	
Análise estatística	Há diferença significativa		Há diferença significativa		Não há diferença significativa	

FONTE: A autora (2024).

A argamassa estabilizada apresentou a maior resistência de aderência à tração, seguida da argamassa industrializada e mista. Dentre as argamassas estudadas, apenas a argamassa mista não alcançou o requisito mínimo estabelecido pela NBR 13749 (ABNT, 2013) de 0,30 MPa para revestimento externo. No entanto, atendeu ao valor mínimo de 0,20 MPa para revestimento interno. Diversos pesquisadores obtiveram resultados semelhantes ao avaliarem a resistência de aderência à tração da argamassa mista com o mesmo traço, aplicada sobre bloco cerâmico com chapisco (Silva *et al.*, 2003; Dualibe *et al.*, 2005; Mota *et al.*, 2011).

Para a argamassa industrializada, pesquisas encontraram valores de aderência iguais ou superiores nos revestimentos deste tipo de argamassa em comparação com os de argamassa mista (Prudêncio *et al.*, 1999; Taube *et al.*, 2003; Temp *et al.*, 2013). No que diz respeito à argamassa estabilizada, Kebhard; Kazmierczak (2017) apresentaram resultados para a resistência de aderência à tração entre 0,34 MPa e 0,42 MPa, indicando um bom desempenho dos revestimentos quando analisado sobre substrato de cerâmica vermelha com aplicação de chapisco.

4.2.3 Propriedades no estado fresco das argamassas e sua influência no desempenho da aderência ao substrato

Nesta seção, são apresentados os resultados da caracterização das argamassas no estado fresco. São abordados fatores como comportamento reológico, plasticidade das argamassas em diferentes substratos e seu impacto no desempenho da aderência.

4.2.3.1 Índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado

As argamassas foram caracterizadas no estado fresco e os resultados médios de índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado, bem como os desvios padrão e os coeficientes de variação das amostras estão apresentados na TABELA 22. Os resultados individuais são mostrados na TABELA B4 e TABELA B5, do Apêndice B.

TABELA 22 – Índice de consistência, densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas

Argamassa	Consistência			Densidade de massa			Ar incorporado		
	Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Média (kg/m³)	DP (kg/m³)	CV (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)
AA	269	0,19	0,07	1865	14,02	0,75	20*	0,28	3,98
AM	254	0,88	0,35	2037	7,20	0,35	3	0,34	9,76
AI	262	0,33	0,13	1934	8,70	0,45	16	0,38	2,40
AU	269	0,19	0,07	1858	4,88	0,26	18*	0,31	3,57

Nota: DP (desvio padrão), CV (coeficiente de variação), * dado fornecido pelo fabricante.

FONTE: A autora (2024).

A análise estatística, realizada por meio da análise de variância (ANOVA), confirmou a existência de diferenças significativas entre as argamassas de revestimento mista, industrializada e estabilizada para as três propriedades avaliadas, conforme apresentado na TABELA D4, do Apêndice D.

Os resultados indicam que os índices de consistência das argamassas mista e industrializada permaneceram dentro do intervalo estabelecido de (260 ± 10) mm. Por outro lado, as argamassas estabilizadas (AA e AU) apresentaram valores mais elevados para esta propriedade em comparação com as outras argamassas estudadas, e esses valores foram similares entre si.

Os resultados mostram que a densidade de massa no estado fresco da argamassa mista é superior à das argamassas industrializada e estabilizada. Estas últimas apresentaram reduções de aproximadamente 5% e 9%, respectivamente, em comparação com a argamassa mista, em relação à densidade de massa fresca. Essa disparidade pode estar relacionada ao fato de que essas argamassas possuem adições e/ou aditivos químicos em suas composições.

No caso específico da argamassa estabilizada, o aditivo incorporador de ar utilizado em sua composição influencia sua plasticidade (Bauer *et al.*, 2015). Quando adicionado à mistura, esse aditivo é capaz de formar microbolhas de ar, distribuídas de forma homogênea na argamassa, conferindo-lhe principalmente melhor trabalhabilidade e redução do consumo de água de amassamento (Carasek, 2010). Essa modificação se reflete em um aumento do teor de ar incorporado e, conseqüentemente, na redução da densidade de massa.

A classificação das argamassas quanto aos requisitos de densidade de massa no estado fresco (DF), utilizadas para revestimento e assentamento de unidades de alvenaria, são estabelecidos pelas partes 1 e 2 da NBR 13281 (ABNT, 2023), respectivamente. Na TABELA 23 estão apresentadas as classes nas quais enquadram-se as argamassas desta pesquisa.

TABELA 23 – Classificação das argamassas quanto à densidade de massa no estado fresco

Valores encontrados nesta pesquisa		Classificação pela NBR 13281:2023	
Argamassa	DF (kg/m ³)	Classe	Intervalo DF (kg/m ³)
AA	1865	DF3	1800 ≤ DF ≤ 2000
AM	2037	DF4	DF > 2000
AI	1934	DF3	1800 ≤ DF ≤ 2000
AU	1858	DF3	1800 ≤ DF ≤ 2000

Nota: DF (densidade de massa no estado fresco).

FONTE: A autora (2024).

Em relação ao teor de ar incorporado, a argamassa mista apresentou um valor de 3%, bastante inferior aos apresentados pelas argamassas industrializada (16%) e estabilizadas (20% e 18%). Pesquisas anteriores (Casali *et al.*, 2001; Nakakura; Cincotto, 2004) indicam que argamassas mistas geralmente atingem um valor máximo de 3% a 4% de ar incorporado nas misturas. Por exemplo, Zanelato *et al.* (2019) encontraram valores de 1,8% e 2050 kg/m³ para teor de ar incorporado e densidade de massa fresca, respectivamente, para uma argamassa mista de composição semelhante. Outros pesquisadores também corroboram esses resultados (Carasek; Scartezini, 1999; Angelim, 2005; Silva *et al.*, 2003; Silva; Campiteli; Gleize, 2007; Dualibe *et al.*, 2005).

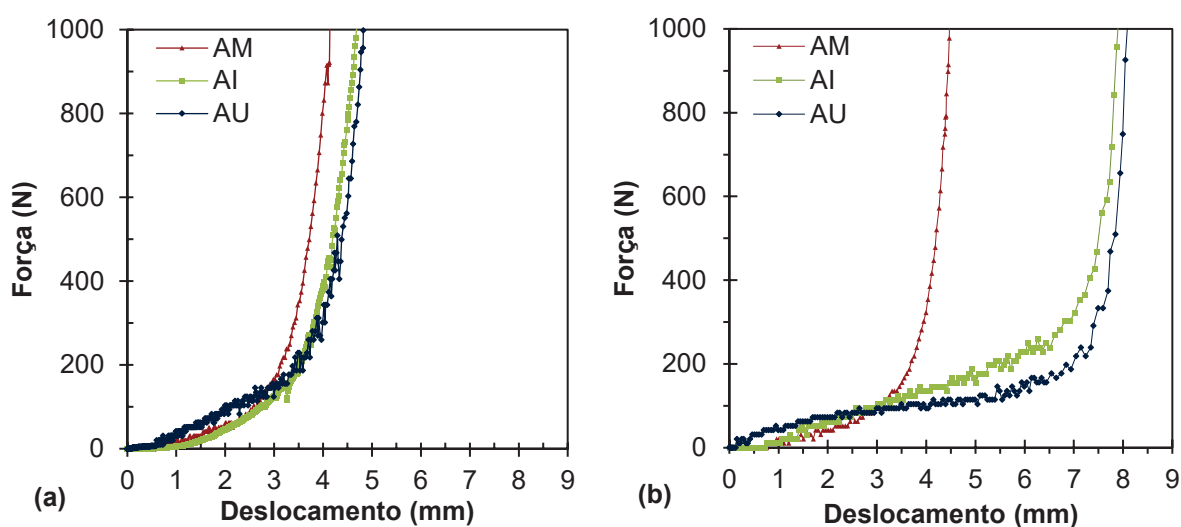
Por outro lado, observa-se que o elevado teor de ar incorporado é comum em argamassas estabilizadas (Bellei; Caten, 2019; Schackow *et al.*, 2019; Jantsch *et al.*,

2021) e industrializadas (Ramos *et al.*, 2017; Bellei *et al.*, 2021; Silveira *et al.*, 2021), enquanto argamassas sem aditivos geralmente apresentam teores mais baixos. Além disso, de acordo com a NBR 13281-2 (ABNT, 2023), o teor de ar incorporado para argamassa de assentamento deve ser menor ou igual a 22%. Conforme informado pelo fabricante, a argamassa AA apresentou um valor igual a 20%.

4.2.3.2 Comportamento reológico das argamassas pelo método *squeeze-flow*

As curvas resultantes da caracterização reológica das argamassas de revestimento mista, industrializada e estabilizada, pelo método *squeeze-flow*, estão apresentadas na FIGURA 53.

FIGURA 53 – Curvas do ensaio *squeeze-flow* na velocidade de: 0,1 mm/s (a) e 3 mm/s (b)



FONTE: A autora (2024).

A análise das curvas mostra que a argamassa estabilizada (AU) registrou os maiores deslocamentos nas duas velocidades, seguida pela argamassa industrializada (AI) e ambas um pouco mais distantes das curvas apresentadas pela argamassa mista (AM), especialmente na velocidade de ensaio de 3 mm/s. Este comportamento pode ser atribuído à presença de aditivos químicos na argamassa industrializada e, principalmente, na argamassa estabilizada, os quais contribuem para uma maior fluidez do material.

A introdução desses aditivos possivelmente influenciou a incorporação de ar durante o processo de mistura das argamassas, resultando consequentemente, em uma menor densidade de massa quando comparadas à argamassa mista. Como

mentionado anteriormente, as argamassas mista, industrializada e estabilizada apresentaram densidades de massa no estado fresco de 2040 kg/m³, 1930 kg/m³ e 1860 kg/m³, respectivamente, acompanhadas de teores de ar incorporado de 3%, 16% e 18%. É importante ressaltar que as argamassas comerciais podem apresentar uma ampla diversidade de composições, gerando uma considerável variabilidade em relação às suas características no estado fresco (Grandes *et al.*, 2021).

Os comportamentos das curvas de carga-deslocamento podem ainda ser categorizados em três estágios: estágio I ou estágio elástico; estágio II ou estágio plástico, estágio III ou estágio de embricamento. O comportamento de embricamento está associado ao atrito entre as partículas, resultante da restrição geométrica ou aumento da concentração de sólidos na região central entre as placas, o que está relacionado à segregação líquido-sólido (Cardoso *et al.*, 2009). Na configuração do ensaio *squeeze-flow*, a segregação líquido-sólido emerge como o principal efeito associado ao comportamento de endurecimento por deformação.

Assim, com base nas curvas obtidas e seguindo a metodologia proposta por Martins (2021), foram determinados os deslocamentos e as forças nos pontos de transição do estágio elástico para o plástico, correspondendo ao deslocamento elástico máximo ($DE_{máx}$) e à força elástica máxima ($FE_{máx}$), assim como nos pontos de transição do estágio plástico para o estágio de embricamento, correspondendo ao deslocamento plástico máximo ($DP_{máx}$) e à força plástica máxima ($FP_{máx}$), conforme apresentado na TABELA 24. Os resultados numéricos, juntamente com as equações lineares na mudança de fase do estágio I para o II e com as equações exponenciais na mudança de fase do estágio II para o III, estão detalhados na TABELA B6, do Apêndice B.

TABELA 24 – Pontos de mudança de estágio das argamassas

(continua)

Argamassa	Estágio I/II		Estágio II/III		Δ_D (mm)	D_f (mm)
	$DE_{máx}$ (mm)	$FE_{máx}$ (N)	$DP_{máx}$ (mm)	$FP_{máx}$ (N)		
Velocidade de 0,1 mm/s						
AM	1,20	20,80	2,80	124,78	1,60	4,30
AI	1,20	10,30	3,00	124,44	1,80	4,68
AU	1,00	31,20	3,20	155,98	2,20	4,84

TABELA 24 – Pontos de mudança de estágio das argamassas
(conclusão)

Argamassa	Estágio I/II		Estágio II/III		Δ_D (mm)	D_f (mm)
	$DE_{\text{máx}}$ (mm)	$FE_{\text{máx}}$ (N)	$DP_{\text{máx}}$ (mm)	$FP_{\text{máx}}$ (N)		
Velocidade de 3 mm/s						
AM	0,71	0,15	3,50	155,98	2,79	4,48
AI	0,77	8,46	6,52	239,17	5,75	7,92
AU	0,22	9,75	6,60	166,38	6,38	8,02

Nota: $DE_{máx}$ (deslocamento elástico máximo); $FE_{máx}$ (força elástica máxima); $DP_{máx}$ (deslocamento plástico máximo); $FP_{máx}$ (força plástica máxima); Δ_D (variação do deslocamento), D_f (deslocamento final).

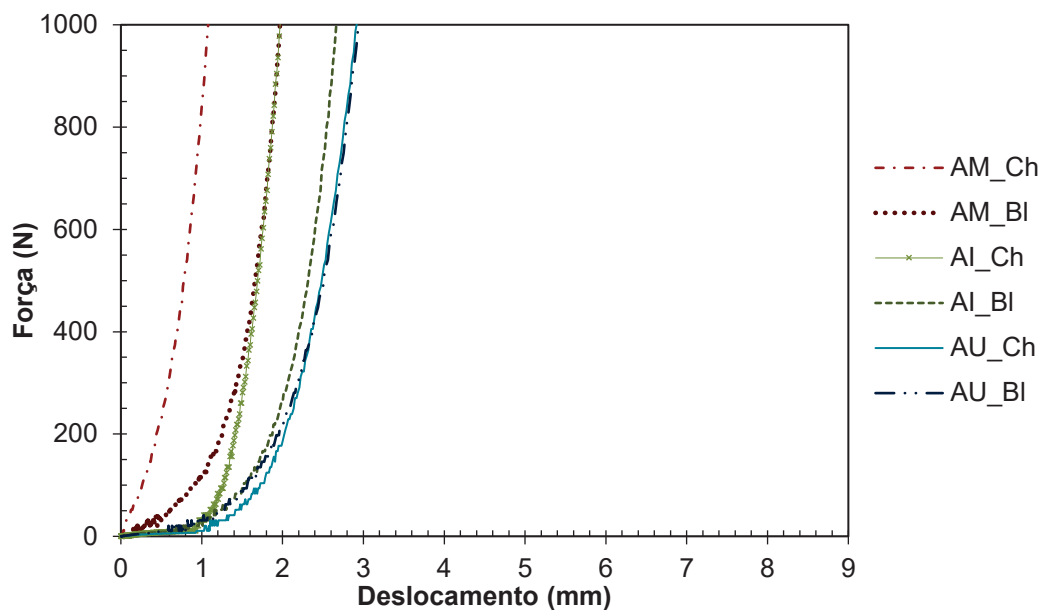
FONTE: A autora (2024).

Os resultados revelam que, a uma velocidade de 0,1 mm/s, as argamassas alcançaram o estágio de embricamento com baixos deslocamentos, variando entre 2,80 mm e 3,20 mm, enquanto que, a 3 mm/s, os deslocamentos atingiram até 6,60 mm. Nas argamassas mistas, a transição para o estágio de embricamento ocorreu em aproximadamente 2,80 mm e 3,50 mm de deslocamento, nas velocidades de 0,1 mm/s e 3 mm/s, respectivamente. Em situações semelhantes, nas argamassas industrializadas, essa transição aconteceu por volta de 3,00 mm e 6,52 mm de deslocamento. Já as argamassas estabilizadas demonstraram a transição para o estágio de embricamento em cerca de 3,20 mm e 6,60 mm de deslocamento.

A análise dos resultados indica que a argamassa estabilizada apresentou os maiores valores de Δ_D , em ambas as velocidades, reportados por estágios plásticos mais amplos, seguida pela argamassa industrializada e mista. Este resultado sugere um comportamento mais favorável dessa argamassa para a aplicação prática, uma vez que uma maior capacidade de deformação tende a facilitar o espalhamento, reduzindo assim o esforço exigido do operário na execução do serviço.

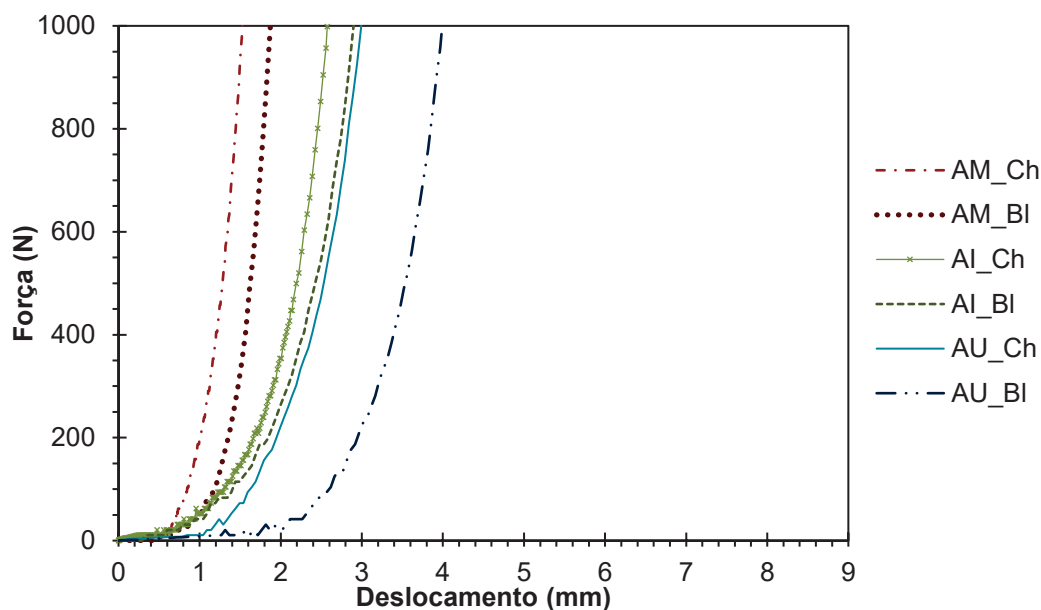
4.2.3.3 Influência do substrato no desempenho reológico das argamassas

As curvas resultantes da caracterização reológica das argamassas de revestimento mista, industrializada e estabilizada, pelo método *squeeze-flow*, quando ensaiadas sobre bloco cerâmico e chapisco aplicado sobre bloco cerâmico, estão apresentadas na FIGURA 54 e na FIGURA 55, para as velocidades de 0,1 mm/s e 3 mm/s, respectivamente.

FIGURA 54 – Curvas no ensaio *squeeze-flow* sobre bloco cerâmico e chapisco (veloc. de 0,1 mm/s)

Nota: Ch (chapisco); BI (bloco cerâmico).

FONTE: A autora (2024).

FIGURA 55 – Curvas no ensaio *squeeze-flow* sobre bloco cerâmico e chapisco (veloc. de 3 mm/s)

Nota: Ch (chapisco); BI (bloco cerâmico).

FONTE: A autora (2024).

O procedimento normativo vigente para a execução do ensaio *squeeze-flow* não apresenta adaptações para simulação de comportamentos mais próximos da realidade, no entanto, é sabido que grande parte dos blocos cerâmicos utilizados na execução de alvenaria de vedação apresentam capacidade de absorção de água e

superfícies irregulares. Assim, a configuração do ensaio pelo método de *squeeze-flow*, quando a argamassa é aplicada sobre um substrato cerâmico, aproxima-se mais da realidade e pode fornecer informações relevantes sobre a interação entre a argamassa e a superfície do substrato no desenvolvimento posterior da aderência.

A análise das curvas permite observar uma maior capacidade de espalhamento das argamassas sobre o bloco cerâmico em comparação ao substrato de chapisco aplicado sobre o bloco cerâmico, nas duas velocidades, sendo ambos espalhamentos mais restritos que os apresentados sobre a base metálica anteriormente.

Os comportamentos das argamassas podem ser melhor compreendidos por meio da análise dos pontos de mudança de estágios. Na TABELA 25 estão apresentados os deslocamentos e as forças nos pontos de transição do estágio elástico para o plástico bem como do estágio plástico para o estágio de embricamento. Os resultados numéricos, juntamente com as equações lineares na mudança de fase do estágio I para o II e com as equações exponenciais na mudança de fase do estágio II para o III, estão apresentados na TABELA B7.

TABELA 25 – Pontos de mudança de estágio das argamassas

Substrato	Argamassa	Estágio I/II		Estágio II/III		Δ_D (mm)	Df (mm)
		DE _{máx} (mm)	FE _{máx} (N)	DP _{máx} (mm)	FP _{máx} (N)		
Velocidade de 0,1 mm/s							
Bloco cerâmico	AM	0,20	10,40	1,00	114,38	0,80	1,98
	AI	0,30	6,36	1,50	96,39	1,20	2,69
	AU	0,20	4,33	1,54	93,59	1,34	2,96
Chapisco sobre bloco cerâmico	AM	0,03	8,96	0,06	31,19	0,03	1,09
	AI	0,38	6,49	1,20	72,79	0,82	1,97
	AU	0,30	3,95	1,60	72,79	1,30	2,93
Velocidade de 3 mm/s							
Bloco cerâmico	AM	0,49	0,15	1,20	93,59	0,71	1,87
	AI	0,15	19,45	1,40	176,78	1,25	2,94
	AU	0,53	4,36	2,40	83,19	1,87	4,02
Chapisco sobre bloco cerâmico	AM	0,22	4,13	0,80	83,19	0,58	1,53
	AI	0,21	9,18	1,30	103,99	1,09	2,69
	AU	0,37	5,17	1,60	93,59	1,23	3,04

Nota: DE_{máx} (deslocamento elástico máximo); FE_{máx} (força elástica máxima); DP_{máx} (deslocamento plástico máximo); FP_{máx} (força plástica máxima); Δ_D (variação do deslocamento), Df (deslocamento final).

FONTE: A autora (2024).

A análise dos resultados mostra que as argamassas atingiram o estágio de embricamento com baixo deslocamento, especialmente quando ensaiadas na velocidade de 0,1 mm/s e sobre o substrato com aplicação de chapisco. Este fenômeno pode ser atribuído, em parte, à superfície irregular do chapisco, que dificulta o deslizamento da argamassa. As rugosidades médias encontradas para a base metálica, bloco cerâmico e chapisco sobre bloco cerâmico foram de 0,30 μm , 1,74 μm e 17,20 μm , respectivamente. Ademais, a possível percolação de água pelas estruturas porosas do bloco cerâmico e do chapisco pode ter resultado em uma redução do teor total de água na amostra. Como já observado, a absorção de água inicial do bloco cerâmico foi de 9,97 (g/194².cm²)/min e aumentou para 19,67 (g/194².cm²)/min após aplicação do chapisco.

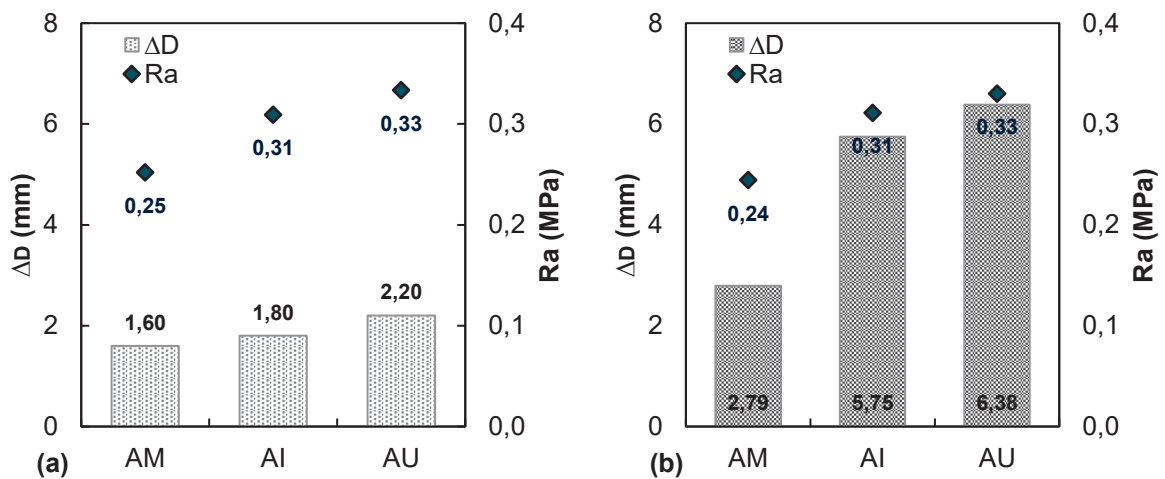
A rapidez na perda de água, seja para o substrato ou para o ambiente, acelera a aproximação das partículas da argamassa, reduzindo a quantidade de fluido para mitigar as forças de atrito entre elas, dificultando assim o espalhamento do revestimento sobre o substrato (Bernardo *et al.*, 2020). Portanto, o comportamento reológico da argamassa varia de acordo com a absorção de água pelo substrato, resultando em menor espalhamento da argamassa em substratos mais absorventes (Costa, 2014). Resultados similares foram observados em pesquisas anteriores com argamassas (Hendrickx *et al.*, 2009) e pastas de cimento (Barbosa, 2010). Essa restrição na mobilidade da argamassa pode contribuir com a incidência de defeitos na interface com o substrato, diminuindo a resistência de aderência (Bernardo *et al.*, 2020).

Por outro lado, é possível analisar que os valores de Δ_D foram inferiores sobre o bloco cerâmico e especialmente sobre o substrato de chapisco aplicado sobre o bloco cerâmico, em comparação à base metálica, certamente devido à influência das características do substrato, como sucção capilar e rugosidade. Além disso, as fases plásticas reportadas pelo Δ_D das argamassas mista, industrializada e estabilizada foram menos pronunciadas nessas condições, principalmente ao analisar os valores apresentados pelas argamassas mista e industrializada. Isso sugere uma forte influência do substrato no comportamento das argamassas e, conseqüentemente, no desempenho da interface argamassa/substrato, o que pode estar relacionado indiretamente com a resistência de aderência após a aplicação de deslocamentos, além da influência das propriedades mecânicas.

4.2.3.4 Influência da plasticidade das argamassas de revestimento no desempenho da aderência

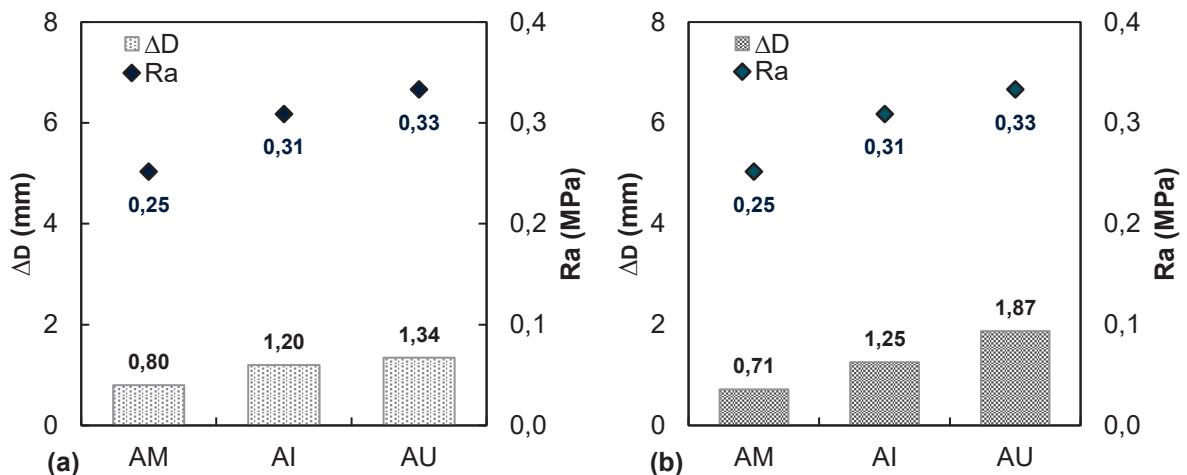
Com o objetivo compreender o comportamento dos revestimentos aplicados sobre os prismas de blocos cerâmicos, foram analisadas as relações entre as propriedades das argamassas frescas e sua influência na resistência de aderência. Para isso, as variações dos deslocamentos (Δ_D) referentes à fase plástica das argamassas, determinadas a partir do *squeeze-flow*, foram relacionados com a resistência média de aderência à tração, conforme apresentado na FIGURA 56, FIGURA 57 e FIGURA 58, para o ensaio realizado sobre base metálica, bloco cerâmico e chapisco aplicado sobre bloco cerâmico, respectivamente.

FIGURA 56 – Relações entre a aderência e a fase plástica das argamassas no *squeeze-flow* sobre base metálica: 0,1 mm/s (a) e 3 mm/s (b)



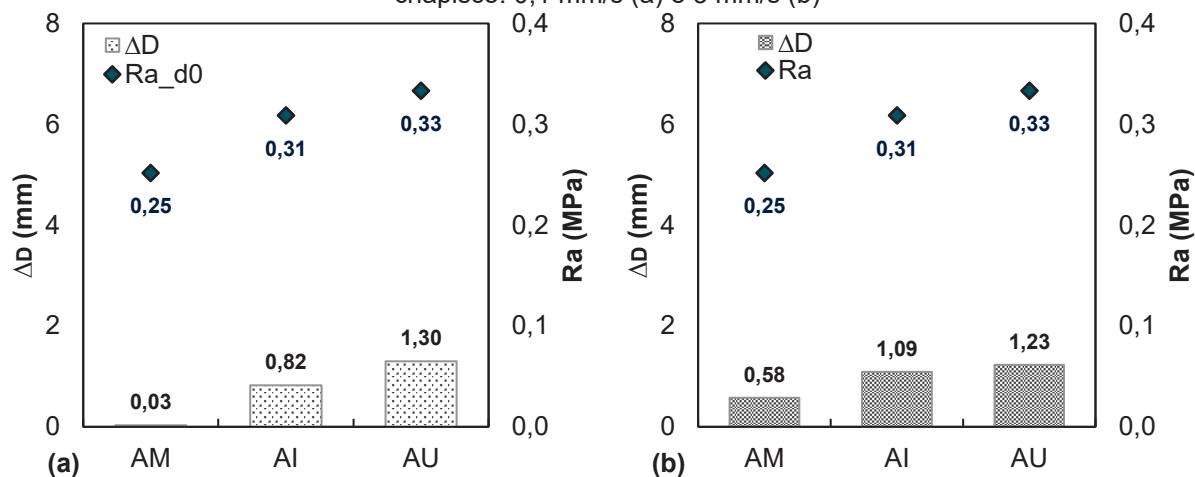
FONTE: A autora (2024).

FIGURA 57 – Relações entre a aderência e a fase plástica das argamassas no *squeeze-flow* sobre bloco cerâmico: 0,1 mm/s (a) e 3 mm/s (b)



FONTE: A autora (2024).

FIGURA 58 – Relações entre a aderência e a fase plástica das argamassas no *squeeze-flow* sobre chapisco: 0,1 mm/s (a) e 3 mm/s (b)



FONTE: A autora (2024).

A análise conjunta dos resultados indica que as argamassas com uma fase plástica mais pronunciada tendem a exibir uma maior resistência de aderência. Nesta pesquisa, observou-se que a argamassa estabilizada (AU) apresentou os maiores valores para ambas as propriedades, seguida pela argamassa industrializada (AI) e mista (AM), considerando-se as duas velocidades de ensaio e os diferentes tipos de substratos.

Uma fase plástica mais ampla é indicativa de uma maior capacidade de deformação da argamassa, o que pode resultar em uma melhor adaptação às irregularidades da superfície durante a aplicação e, conseqüentemente, em uma melhor aderência da argamassa ao substrato. Em contrapartida, argamassas com uma fase plástica menos desenvolvida podem apresentar uma aderência mais fraca, pois sua capacidade de se deformar e acomodar nas reentrâncias do substrato pode ser limitada.

A análise do índice de consistência das argamassas de revestimento já mostrava que a argamassa estabilizada apresentava maior espalhamento na mesa de consistência, seguida pelas argamassas industrializada e mista, associada a uma menor densidade de massa e maior teor de ar incorporado.

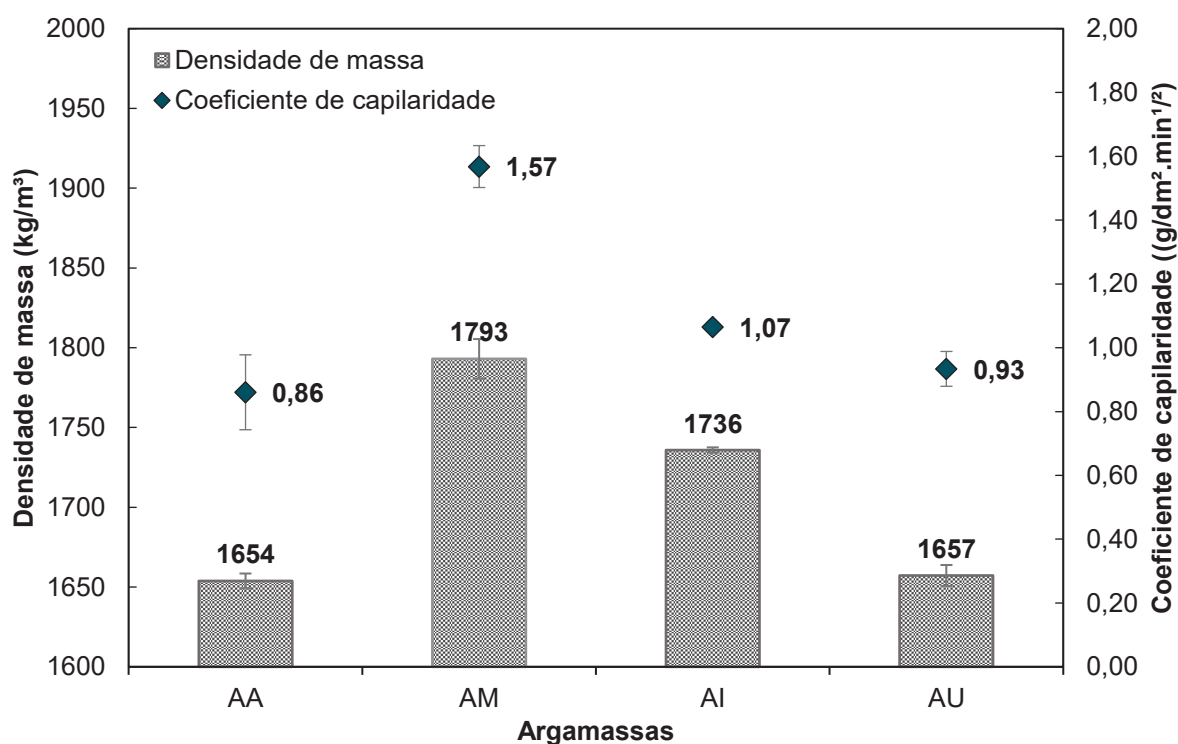
4.2.4 Propriedades no estado endurecido das argamassas e sua influência no desempenho da aderência ao substrato

Nesta seção, são apresentados os resultados da caracterização das argamassas no estado endurecido e a análise de como suas propriedades físicas e mecânicas influenciam o desempenho da aderência.

4.2.4.1 Densidade de massa e absorção de água por capilaridade

Os resultados médios de densidade de massa e coeficiente de capilaridade das argamassas estão apresentados na FIGURA 59, com os desvios padrão representados pelas barras de erro. Os resultados individuais de cada amostra são mostrados na TABELA B8 e na TABELA B9, do Apêndice B.

FIGURA 59 – Densidade de massa e coeficiente de capilaridade das argamassas



FONTE: A autora (2024).

As argamassas de revestimento mista, industrializada e estabilizada apresentam diferenças significativas entre si, verificado por meio da análise de variância (ANOVA), para as duas propriedades avaliadas, conforme apresentado na

TABELA D5, do Apêndice D. Os resultados indicam que, assim como no estado fresco, a densidade média no estado endurecido da argamassa mista foi maior do que a das argamassas industrializada e estabilizada, corroborando com resultados apresentados em outras pesquisas (Bellei *et al.*, 2021; Silveira *et al.*, 2021).

Observou-se uma consistência nas variações de densidade de massa entre os estados fresco e endurecido para todas as argamassas, com percentuais de redução de massa de cerca de 11,34%, 11,99%, 10,25% e 10,79% para as argamassas AA, AM, AI e AU, respectivamente. Como previsto, a evaporação da água dos espaços que ocupava deixa poros na estrutura do material e consequentemente, a densidade de massa se reduz parcialmente (Thaulow *et al.*, 2004). As argamassas industrializada e estabilizada apresentaram reduções de aproximadamente 3% e 8%, respectivamente, na densidade de massa no estado endurecido, em comparação à argamassa mista. A redução é mais acentuada para a argamassa estabilizada, como esperado, devido à presença de aditivos incorporadores de ar (Veiga, 1998).

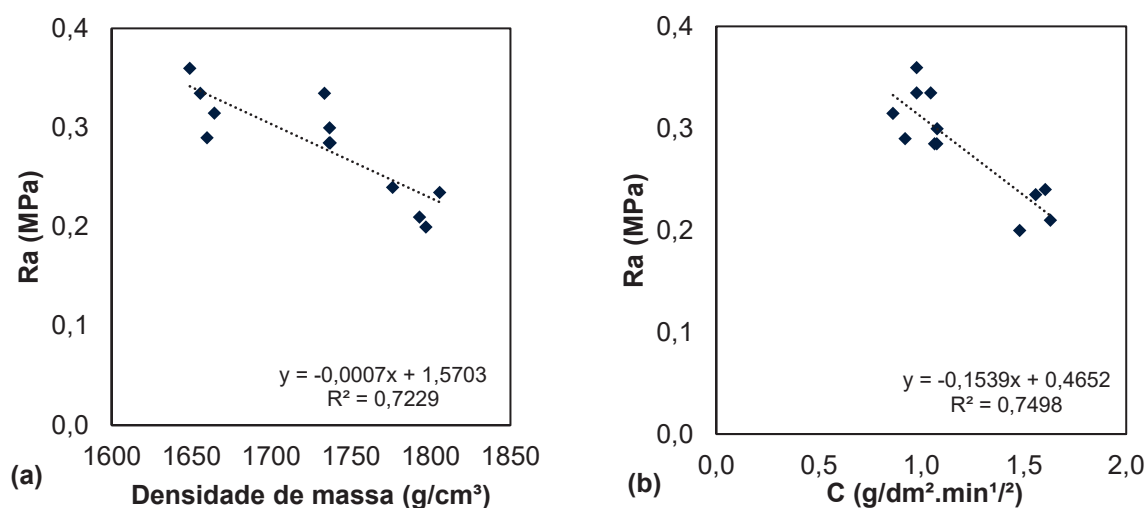
De acordo com os critérios estabelecidos pela NBR 13281-1 (ABNT, 2023) para a classificação das argamassas de revestimento quanto ao requisito de densidade de massa no estado endurecido (DE), todas as argamassas se enquadraram na classe DE3, ou seja, $1600 \leq DE \leq 1800 \text{ kg/m}^3$, o que está em conformidade com a classificação apresentada na ficha técnica da argamassa industrializada, fornecida pelo fabricante.

Em relação ao coeficiente de capilaridade, a argamassa mista apresentou valor médio maior em comparação com a argamassa industrializada e estabilizada. Para esta propriedade, a argamassa mista registrou um valor médio de $1,57 \text{ g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$. Resultados semelhantes foram encontrados por Veiga (1998), Silveira *et al.* (2021) e Bellei *et al.* (2021).

Quanto à argamassa industrializada e estabilizada, os valores obtidos foram de 1,07 e 0,93 $\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$. Outras pesquisas (Flores-Colen *et al.*, 2011; Silveira *et al.*, 2021) apresentaram valores muito inferiores (entre 0,11 e 0,20 $\text{g}/(\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$) para argamassas industrializadas, atribuindo isso à presença de aditivos hidrofugantes em sua composição, que impedem a absorção livre de água pela argamassa no estado endurecido. Em relação à argamassa mista, as argamassas industrializada e estabilizada apresentaram reduções de aproximadamente 32% e 40% no coeficiente de capilaridade, respectivamente.

A resistência média de aderência à tração e as propriedades físicas das argamassas (densidade de massa e coeficiente de capilaridade) foram submetidas a uma análise de regressão linear, conforme apresentado na FIGURA 60.

FIGURA 60 – Relações entre a resistência de aderência à tração e: densidade de massa (a) e coeficiente de capilaridade (b)



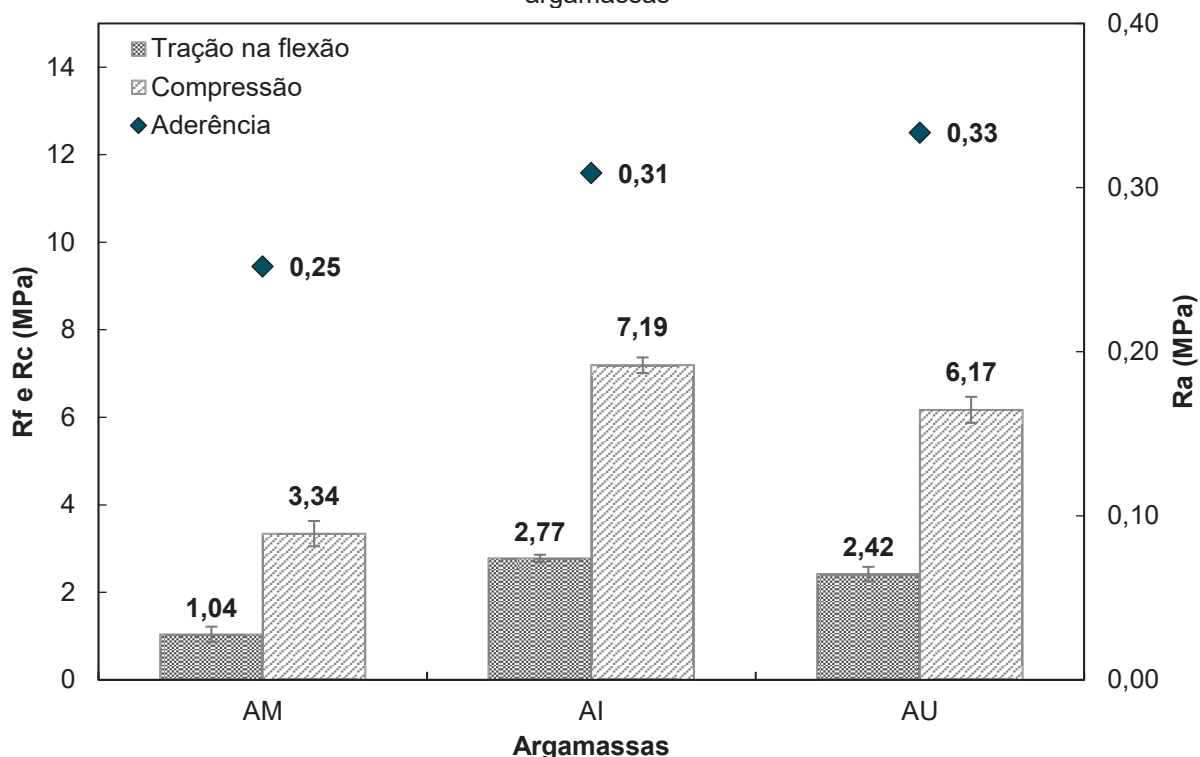
FONTE: A autora (2024).

Coefficients of determination of approximately 0,72 and 0,75 were obtained by correlating the properties, suggesting that reasonably good linear relationships between them can be established. The results of this research evidence that an increase in mass density, as well as in the capillarity coefficient of the mortars, negatively impacted the tensile adhesion resistance of the mortar to the substrate.

4.2.4.2 Resistências à tração na flexão e à compressão

É importante também analisar as interações entre as propriedades mecânicas das argamassas de revestimento e a resistência de aderência, para obter uma melhor compreensão do desempenho dos revestimentos aplicados sobre substratos. Assim, os valores médios da resistência de aderência (R_a), juntamente com as resistências à tração na flexão (R_f) e à compressão (R_c) das argamassas de revestimento são apresentados na FIGURA 63, com as barras de erro representando os desvios padrão.

FIGURA 61 – Resistências à compressão, à tração na flexão e de aderência à tração das argamassas



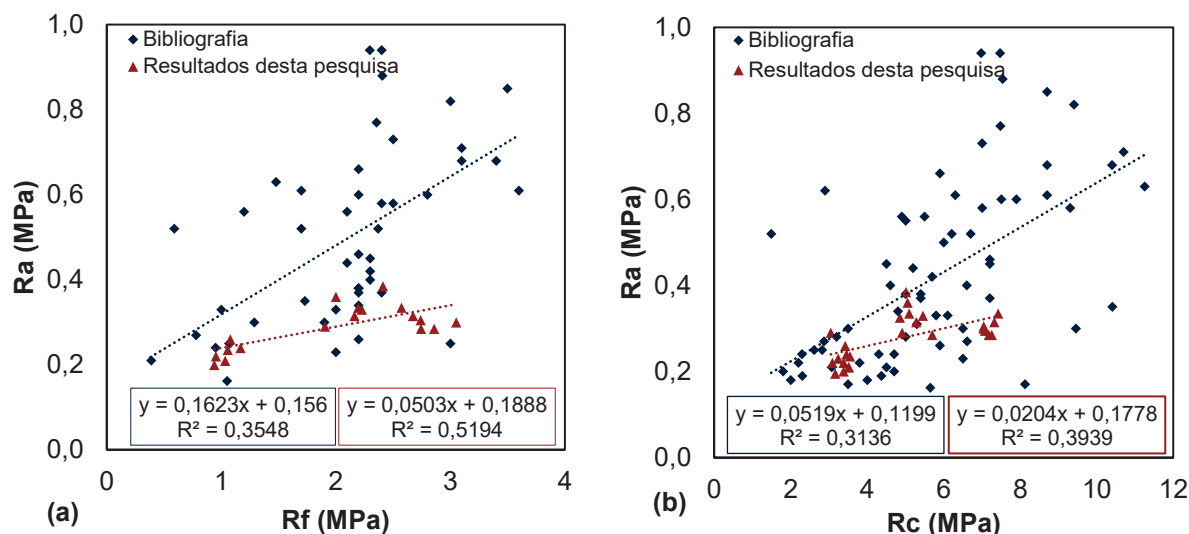
Nota: Rf (resistência à tração na flexão), Rc (resistência à compressão), Ra (resistência de aderência à tração).

FONTE: A autora (2024).

Considerando os resultados das propriedades mecânicas das argamassas, é importante analisar suas interações com a aderência da interface argamassa/substrato. Os resultados mostraram que os aumentos na resistência de aderência e na resistência à compressão não ocorreram de forma proporcional. Em relação à argamassa de menor resistência (AM), aumentos na resistência à compressão de 115% e 85%, para as argamassas AI e AU, respectivamente, resultaram em ganhos de 24% e 32% na resistência de aderência. Isso sugere que outros fatores além da resistência à compressão podem influenciar a resistência de aderência das argamassas (Silva *et al.*, 2013).

Em paralelo aos resultados reportados em pesquisas anteriores para a resistência de aderência à tração, muitas pesquisas apresentaram resultados das resistências mecânicas das argamassas, referentes à resistência à tração na flexão e à resistência à compressão. A FIGURA 62 mostra as correlações existentes entre estas propriedades conforme os valores reportados por outras pesquisas, juntamente com os resultados encontrados neste trabalho.

FIGURA 62 – Relações entre a resistência de aderência à tração e resistências: à tração na flexão (a) e à compressão (b)



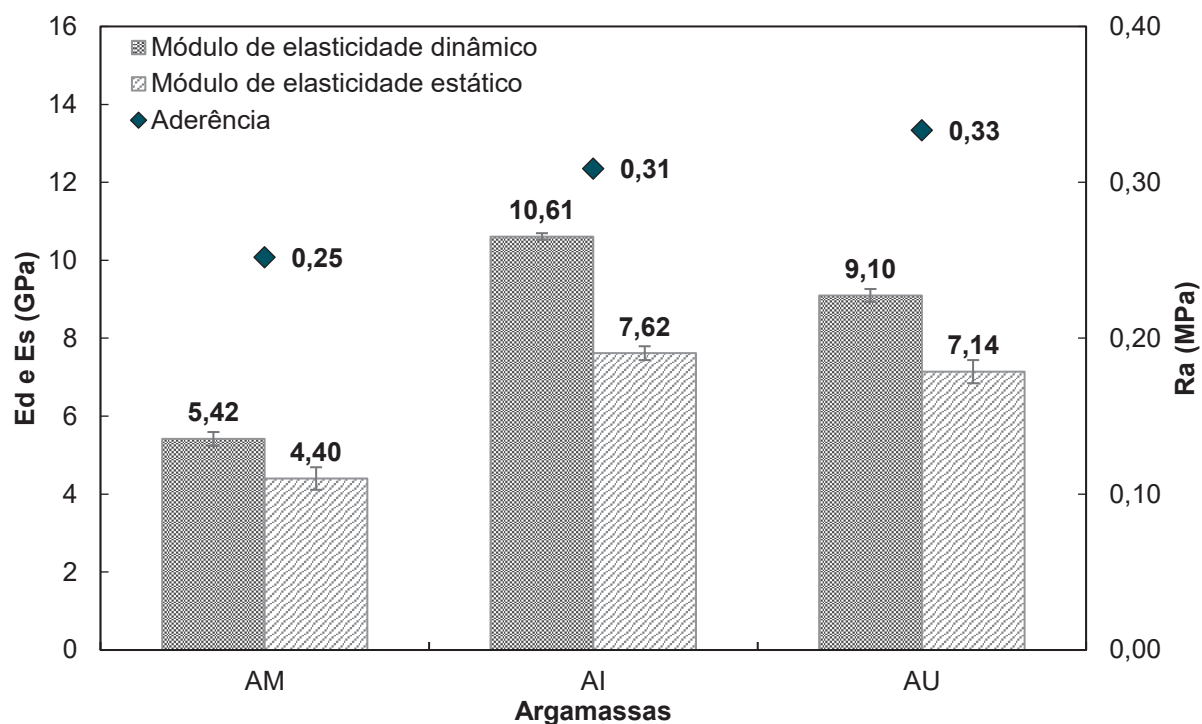
FONTE: A autora (2024).

Realizando uma correlação entre a aderência e as resistências mecânicas, coeficientes de determinação de 0,35 e 0,31 foram obtidos, respectivamente, para a resistência à tração na flexão e à compressão, em pesquisas anteriores, conforme apresentados na FIGURA 62a e FIGURA 62b, respectivamente. Isso sugere a existência de relações lineares baixas entre essas propriedades e a possibilidade de outras variáveis ou fatores influenciar os resultados. Para esta pesquisa, foram encontrados coeficientes de determinação em termos de 0,52 e 0,40, para as mesmas correlações.

4.2.4.3 Módulos de elasticidade

É fundamental também verificar as interações entre o módulo de elasticidade das argamassas de revestimento e a resistência de aderência, em condições normais, com o intuito de melhorar a compreensão do desempenho dos revestimentos aplicados sobre os substratos. Além disso, essa análise permite uma avaliação mais aprofundada dessas relações com a aplicação de deslocamentos nos prismas. Assim, os valores médios da resistência de aderência à tração (R_a), juntamente com os módulos de elasticidade das argamassas são apresentados na FIGURA 63.

FIGURA 63 – Módulos de elasticidade dinâmico e estático e resistência de aderência à tração das argamassas

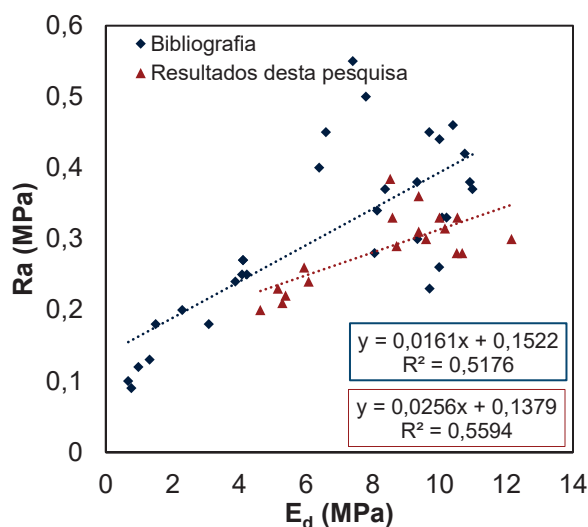


Nota: Ed (módulo de elasticidade dinâmico), Es (módulo de elasticidade estático), Ra (resistência de aderência à tração).

FONTE: A autora (2024).

Os resultados mostram que os aumentos na resistência de aderência e do módulo de elasticidade não ocorreram de forma proporcional, de forma análoga ao que foi observado em relação às resistências mecânicas. Em relação à argamassa de menor resistência (AM), aumentos no módulo de elasticidade dinâmico de 96% e 68%, bem como no módulo de elasticidade estático de 73% e 62% para as argamassas industrializada e estabilizada, respectivamente, resultaram em ganhos de 24% e 32% na resistência de aderência. Isso sugere que outros fatores além da resistência à compressão podem influenciar a resistência de aderência das argamassas. Um coeficiente de determinação de aproximadamente 0,56 foi encontrado ao correlacionar o módulo de elasticidade dinâmico com a resistência de aderência das argamassas, conforme mostrado na FIGURA 64.

FIGURA 64 – Relações entre a resistência de aderência à tração e o módulo de elasticidade dinâmico



FONTE: A autora (2024).

Correlações entre estas propriedades por meio dos resultados apresentados em pesquisas anteriores reportaram um coeficiente de determinação em termos de 0,51 entre estas propriedades, o que sugere que podem ser estabelecidas relações lineares moderadas entre ambas, indicando que, há medida que se aumenta o módulo de elasticidade da argamassa, há um aumento também na sua resistência de aderência, no entanto, outros fatores podem influenciar esta propriedade.

4.2.5 Influência dos deslocamentos aplicados sobre os prismas na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa

Os revestimentos de argamassa foram avaliados quanto à resistência de aderência à tração quando os prismas estavam submetidos à aplicação de deslocamentos variados de 2 mm (d2), 3 mm (d3) e 4 mm (d4) advindos de cargas de compressão. Os resultados médios das argamassas mista, industrializada e estabilizada estão apresentados na TABELA 26, com os respectivos desvios padrão e coeficientes de variação. Os valores individuais dos corpos de prova estão mostrados da TABELA C7 à TABELA C15, do Apêndice C.

TABELA 26 – Resistência de aderência à tração das argamassas sob deslocamentos

Deslocamento	P-AM			P-AI			P-AU		
	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
d0	0,25	0,05	18,63	0,31	0,10	30,97	0,33	0,05	15,66
d2	0,22	0,07	31,25	0,25	0,05	20,82	0,27	0,06	23,15
d3	0,19	0,06	31,57	0,21	0,07	31,12	0,23	0,06	26,91
d4	0,18	0,04	21,26	0,20	0,03	16,58	0,21	0,06	28,07

FONTE: A autora (2024).

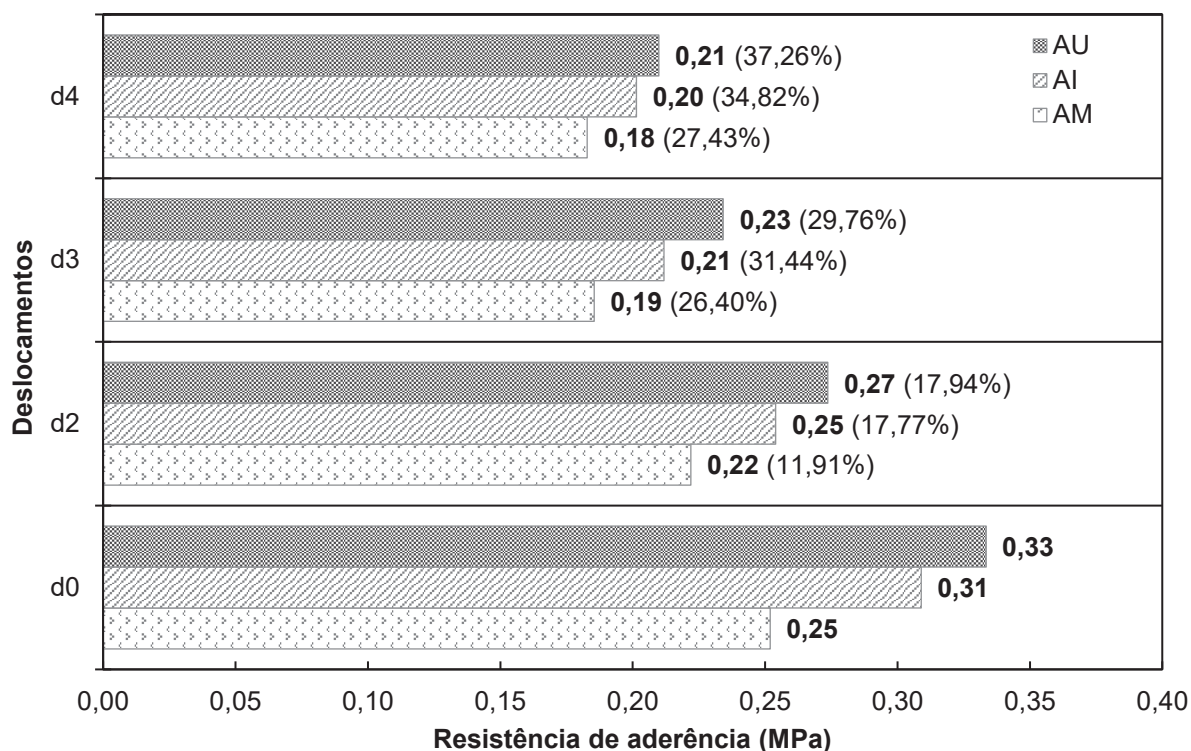
A análise estatística confirmou a existência de diferenças significativas entre os três tipos de argamassas, em cada um dos deslocamentos, como mostra a TABELA D6, do Apêndice D. Observa-se que, em todas as condições, as resistências de aderência da argamassa mista foram menores que as das demais argamassas. A menor fase plástica identificada no ensaio *squeeze-flow* e a densidade de massa no estado fresco dessa argamassa indicavam uma resistência de aderência mais fraca devido à limitação de sua capacidade de se deformar e se acomodar nas reentrâncias do substrato.

A argamassa industrializada apresentou valores intermediários entre as argamassas estudadas. No estado fresco, ela havia apresentado uma fase plástica mais ampla que a da argamassa mista, no entanto, sua composição com um maior percentual de areia industrial (de carbonato de cálcio), em comparação aos demais materiais constituintes (cimento e areia natural), pode ter dificultado sua aplicação, comprometendo a aderência do revestimento, que se evidenciou com a aplicação dos deslocamentos.

A argamassa estabilizada, por sua vez, apresentou os valores mais elevados de resistência de aderência à tração em todas as condições de deslocamento, como o já apresentado em condição normal (d0). No estado fresco, a fase plástica mais ampla apresentada por esta argamassa era indicativa de uma maior capacidade de deformação e adaptação às irregularidades da superfície durante a sua aplicação e, conseqüentemente, em uma melhor aderência ao substrato.

A FIGURA 65 apresenta os percentuais de reduções da resistência de aderência (indicados entre parêntese) das argamassas mista, industrializada e estabilizada, para os três deslocamentos em relação à condição normal (d0).

FIGURA 65 – Resistência de aderência à tração das argamassas



FONTE: A autora (2024).

Mediante ação dos deslocamentos, observa-se que o desempenho da aderência da argamassa mista foi o menos afetado, em comparação às demais argamassas, conforme indicam os percentuais de redução de 11,91%, 26,40% e 27,43% para os deslocamentos d2, d3 e d4, respectivamente, em relação à aderência em condição normal (d0). A argamassa mista mostrou-se menos suscetível às variações de deslocamento, com uma redução na aderência de 15,52% ao analisar o intervalo dos deslocamentos de d2 a d4.

Analisando-se as reduções encontradas para as argamassas a partir da primeira condição (d2), possivelmente o comportamento dúctil da argamassa mista, ou seja, maior capacidade de deformação antes da ruptura, contribuiu com o menor impacto na redução da aderência. No estado endurecido, argamassas mais flexíveis tendem a apresentar uma fase plástica mais extensa, representada na curva tensão versus deformação, em que o ponto de ruptura ocorre após uma deformação maior em comparação às argamassas rígidas, e sua ruptura não ocorre de forma tão abrupta. Este comportamento vai ao encontro do observado nos ensaios preliminares dos prismas revestidos submetidos à compressão.

Quando aplicado o deslocamento d2, as argamassas industrializada e estabilizada apresentaram reduções de aderência semelhantes, de aproximadamente 17,77% e 17,94%, respectivamente, em comparação à condição normal. Com o aumento do deslocamento para d3, a argamassa industrializada foi a mais afetada, enquanto no deslocamento d4, a argamassa estabilizada sofreu a maior redução percentual (37,26%).

A argamassa industrializada apresentou o maior módulo de elasticidade (10,61 GPa), seguido da argamassa estabilizada (9,10 GPa), indicando uma menor capacidade de absorver e acomodar deformações mediante a aplicação de esforços, em comparação à argamassa mista (5,42 GPa). No estado endurecido, argamassas mais rígidas apresentam uma fase plástica mais restrita em comparação às argamassas flexíveis, pois não têm grande capacidade de deformação plástica. Este comportamento observado em uma curva tensão versus deformação, mostra que para argamassas rígidas, a deformação aumenta mais rapidamente em relação à tensão aplicada, portanto, essas argamassas atingem o ponto de ruptura mais rapidamente, de forma frágil, não se deformando muito antes de falhar.

Possivelmente, sob compressão, as argamassas industrializadas e estabilizadas enfrentaram maior dificuldade em se movimentar sem se descolar do substrato. Isso ficou evidente nos percentuais de redução de aderência, com variações de 17,05% e 19,12%, ao analisar o intervalo dos deslocamentos de d2 a d4, respectivamente.

As curvas tensão versus deformação, analisadas para os ensaios preliminares dos prismas já indicavam que, os prismas revestidos com argamassa estabilizada, embora apresentassem maior rigidez em comparação aqueles revestidos com argamassas mista e industrializada, ainda assim possuíam capacidade de suportar maiores esforços até o momento de sua ruptura, caracterizada pelo descolamento do revestimento da base.

A análise estatística da resistência de aderência dos revestimentos foi realizada por meio do teste t entre os pares de deslocamentos d0 e d2, d2 e d3, e d3 e d4, para cada tipo de argamassa. Os resultados estão apresentados na TABELA 27, e os detalhes dos testes encontram-se na TABELA D7, do Apêndice D.

TABELA 27 – Teste t da aderência dos revestimentos de argamassa em diferentes deslocamentos

Argamassa mista						
Prismas	P-AM-d0	P-AM-d2	P-AM-d2	P-AM-d3	P-AM-d3	P-AM-d4
Média	0,25	0,22	0,22	0,19	0,19	0,18
P(T<=t) bi-caudal	3,83E-03	< 0,05	1,13E-03	< 0,05	0,79	> 0,05
Análise estatística	Há diferença significativa		Há diferença significativa		Não há diferença significativa	
Argamassa industrializada						
Prismas	P-AI-d0	P-AI-d2	P-AI-d2	P-AI-d3	P-AI-d3	P-AI-d4
Média	0,31	0,25	0,25	0,21	0,21	0,20
P(T<=t) bi-caudal	4,82E-03	< 0,05	5,38E-03	< 0,05	0,45	> 0,05
Análise estatística	Há diferença significativa		Há diferença significativa		Não há diferença significativa	
Argamassa estabilizada						
Prismas	P-AU-d0	P-AU-d2	P-AU-d2	P-AU-d3	P-AU-d3	P-AU-d4
Média	0,33	0,27	0,27	0,23	0,23	0,21
P(T<=t) bi-caudal	8,36E-06	< 0,05	1,06E-03	< 0,05	0,06	> 0,05
Análise estatística	Há diferença significativa		Há diferença significativa		Não há diferença significativa	

FONTE: A autora (2024).

Os resultados de aderência para os deslocamentos d0 e d2, assim como entre d2 e d3, apresentaram diferenças significativas para os três tipos de revestimentos de argamassa. No entanto, não foram identificadas diferenças significativas entre os deslocamentos d3 e d4. Esses deslocamentos, observados na fase plástica das curvas de tensão versus deformação, não causaram grande deformabilidade nos prismas e nos revestimentos, em comparação aos demais deslocamentos.

As formas de ruptura dos corpos de prova foram registradas durante o ensaio de resistência de aderência à tração, e seus percentuais estão apresentados na TABELA 28. As rupturas detalhadas de cada corpo de prova encontram-se da TABELA C4 à TABELA C15 e da FIGURA 75 à FIGURA 83, do Apêndice C.

TABELA 28 – Percentuais de forma de ruptura dos corpos de prova de aderência

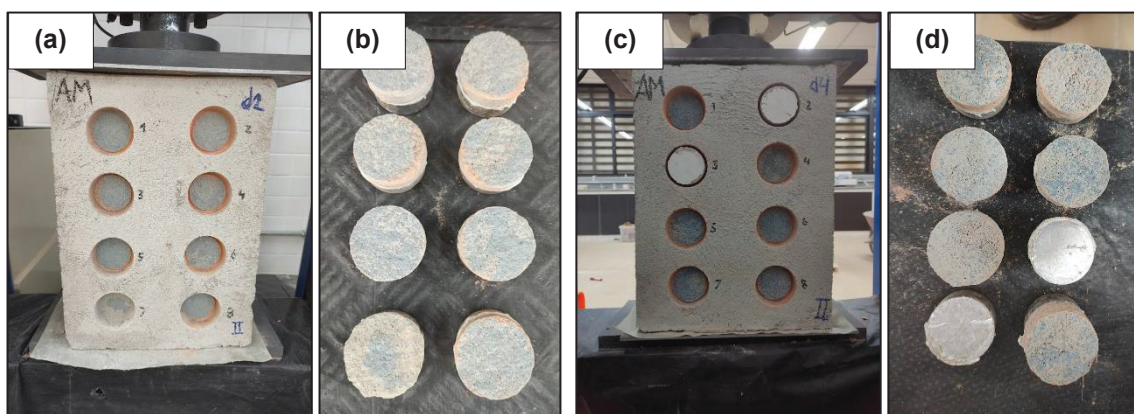
Argamassa	Tipo de ruptura			
	Total Chapisco/ Argamassa	Total Argamassa	Parcial Chapisco e argamassa	Cola/ pastilha
AM	91	2	6	1
AI	59	8	28	5
AU	95	1	2	2

FONTE: A autora (2024).

A análise dos registros revelou que, nos três tipos de revestimentos de argamassa, a maioria das rupturas ocorreu na interface chapisco/argamassa. Rupturas parciais, que ocorreram tanto na argamassa quanto no chapisco, também foram observadas, especialmente na argamassa industrializada, conforme exemplificado pelo corpo de prova 7 na FIGURA 66a.

Em menor proporção, identificaram-se rupturas totais na argamassa. Além disso, foram registradas falhas decorrentes da má colagem das pastilhas, cujos resultados foram desconsiderados, como ilustrado pelos corpos de prova 2 e 3 na FIGURA 66c. Todos os demais corpos de prova das figuras exemplificam a ocorrência de ruptura total na interface argamassa/chapisco.

FIGURA 66 – Formas de ruptura dos corpos de prova dos prismas: prisma frontal (a, c); corpos de prova após ruptura (b, d)



FONTE: A autora (2024).

4.3 INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO DOS PRISMAS NO DESEMPENHO DA ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

Com base nos ensaios simultâneos realizados nos prismas revestidos, foram determinados vários parâmetros, como as forças compressivas aplicadas durante a execução em cada deslocamento, curvas tensão versus deformação, a partir das quais foram calculados os módulos de deformação, resiliências e tenacidades dos prismas para os deslocamentos pré-determinados. Os resultados dos prismas, relacionados com a resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa, são apresentados nesta seção.

4.3.1 Impacto das forças atuantes sobre os prismas na aderência dos revestimentos de argamassa

A partir da execução simultânea dos ensaios de resistência de aderência à tração e módulo de deformação dos prismas, foi possível identificar as forças atuantes sobre os prismas quando estes atingiram os deslocamentos pré-determinados em 2 mm (F_{d2}), 3 mm (F_{d3}) e 4 mm (F_{d4}), bem como as forças máximas ($F_{máx}$) registradas no momento da ruptura do prisma. Os resultados médios dos prismas revestidos com argamassas mista, industrializada e estabilizada estão apresentados na TABELA 29, com os respectivos desvios padrão e coeficientes de variação. Os valores individuais dos corpos de prova estão apresentados na TABELA C16, do Apêndice C.

TABELA 29 – Força atuante nos deslocamentos e força máxima de ruptura

Deslocamento	P-AM			P-AI			P-AU		
	Média (kN)	DP (kN)	CV (%)	Média (kN)	DP (kN)	CV (%)	Média (kN)	DP (kN)	CV (%)
F_{d2}	10,44	4,10	39,27	13,99	2,28	16,30	14,56	4,22	28,99
$F_{máx2}$	54,59	7,99	14,64	47,16	7,00	14,84	68,27	24,31	35,61
F_{d3}	26,15	8,31	31,78	33,75	1,76	5,22	37,38	6,63	17,73
$F_{máx3}$	56,12	14,02	24,99	63,48	6,98	11,00	62,06	7,23	11,65
F_{d4}	34,16	5,43	15,89	36,82	5,78	15,69	41,18	5,45	13,23
$F_{máx4}$	59,15	10,06	17,01	55,59	8,46	15,22	60,15	10,32	17,16

FONTE: A autora (2024).

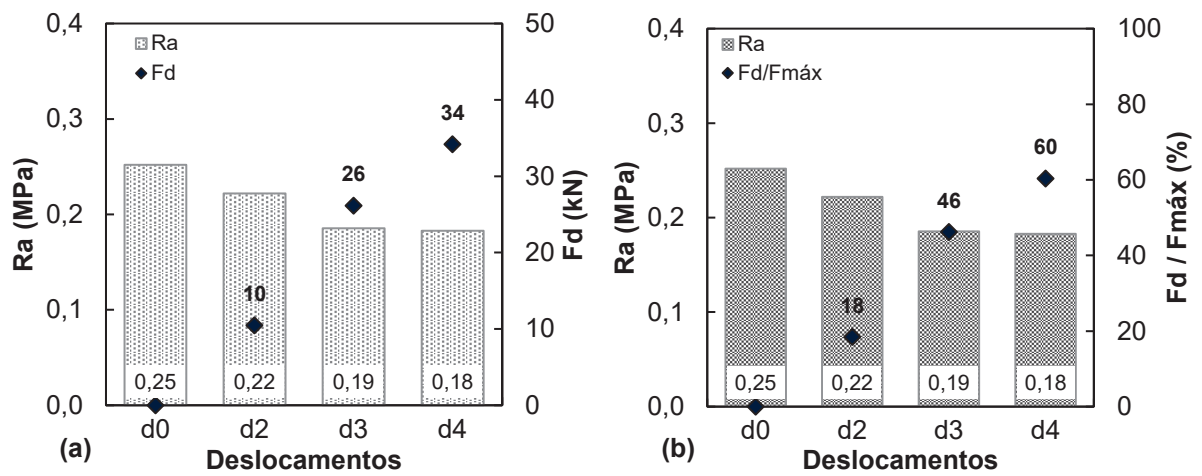
Observa-se um aumento nas forças atuantes sobre os prismas, com o aumento dos deslocamentos, em todos os revestimentos. Para os mesmos deslocamentos, os prismas revestidos com diferentes tipos de argamassa foram submetidos a forças de compressão distintas. Isso já era previsto a partir da análise preliminar das curvas de tensão versus deformação dos prismas, considerando que as diferentes características dos revestimentos de argamassa contribuíram em proporções variadas para a resistência à compressão, bem como para o módulo de deformação dos prismas.

Com a aplicação de todos os deslocamentos, é possível notar que os prismas revestidos com argamassa mista estavam sob menores tensões de compressão em comparação àqueles revestidos com as demais argamassas. Os prismas revestidos com argamassas industrializada e estabilizada, por sua vez, apresentaram tensões bastante próximas quando considerados os deslocamentos $d2$ e $d3$, e um pouco mais

distantes entre si para o deslocamento d4, com uma força ligeiramente superior para a argamassa estabilizada nesta condição.

As relações entre os valores médios de resistência de aderência e as correspondentes forças atuantes no momento da execução do ensaio, bem como as relações entre elas e as forças máximas ($F_d/F_{máx}$), dado pelo fator de eficiência, para as argamassas mista, industrializada e estabilizada, estão apresentadas na FIGURA 67, FIGURA 68 e FIGURA 69, respectivamente.

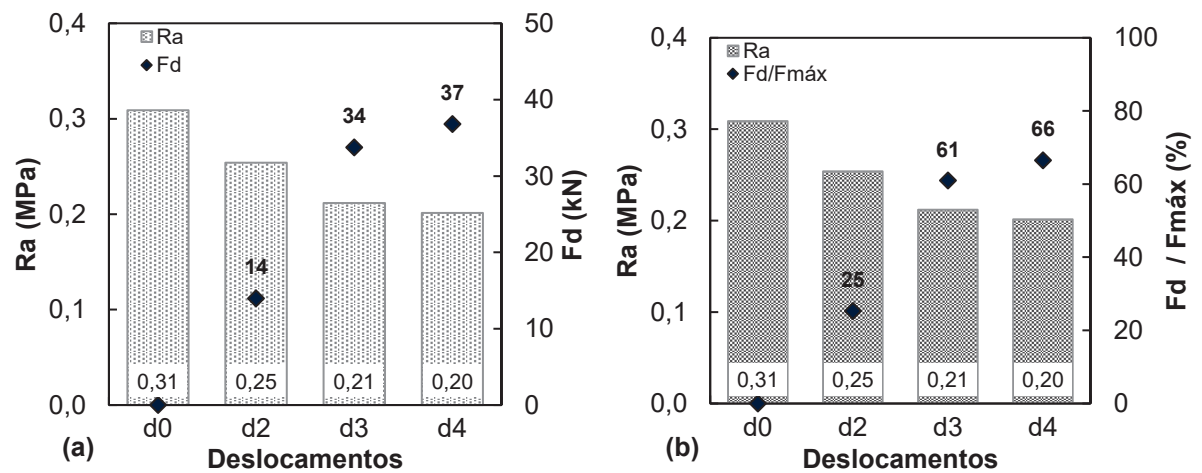
FIGURA 67 – Relações entre resistência de aderência e: força atuante (a); força atuante/força máxima (b) para a argamassa mista



Nota: F_d (força atuante quando atingidos os deslocamentos d2, d3 e d4,); $F_d/F_{máx}$ (relação entre a força atuante a força máxima).

FONTE: A autora (2024).

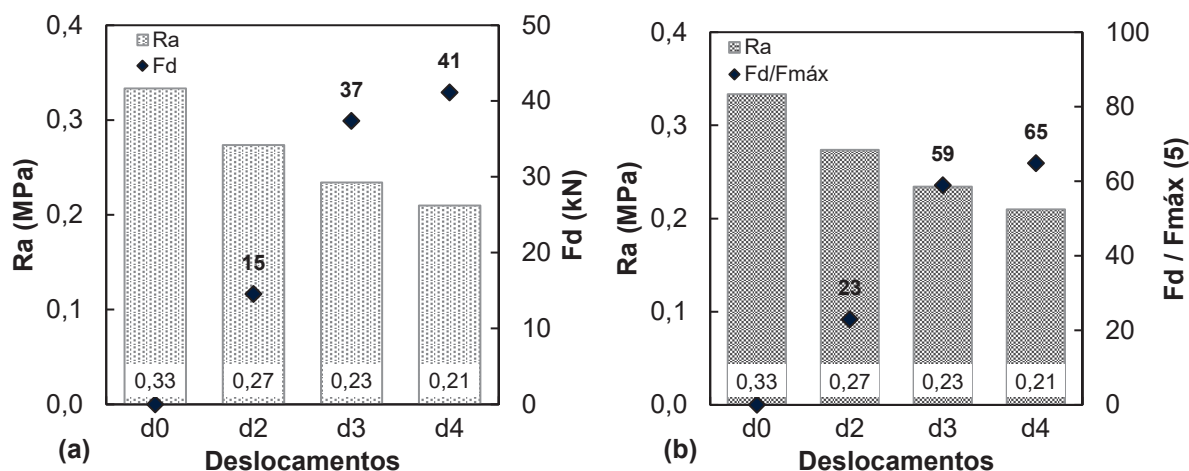
FIGURA 68 – Relações entre resistência de aderência e: força atuante (a); força atuante/força máxima (b) para a argamassa industrializada



Nota: F_d (força atuante quando atingidos os deslocamentos d2, d3 e d4,); $F_d/F_{máx}$ (relação entre a força atuante a força máxima).

FONTE: A autora (2024).

FIGURA 69 – Relações entre resistência de aderência e: força atuante (a); força atuante/força máxima (b) para a argamassa estabilizada

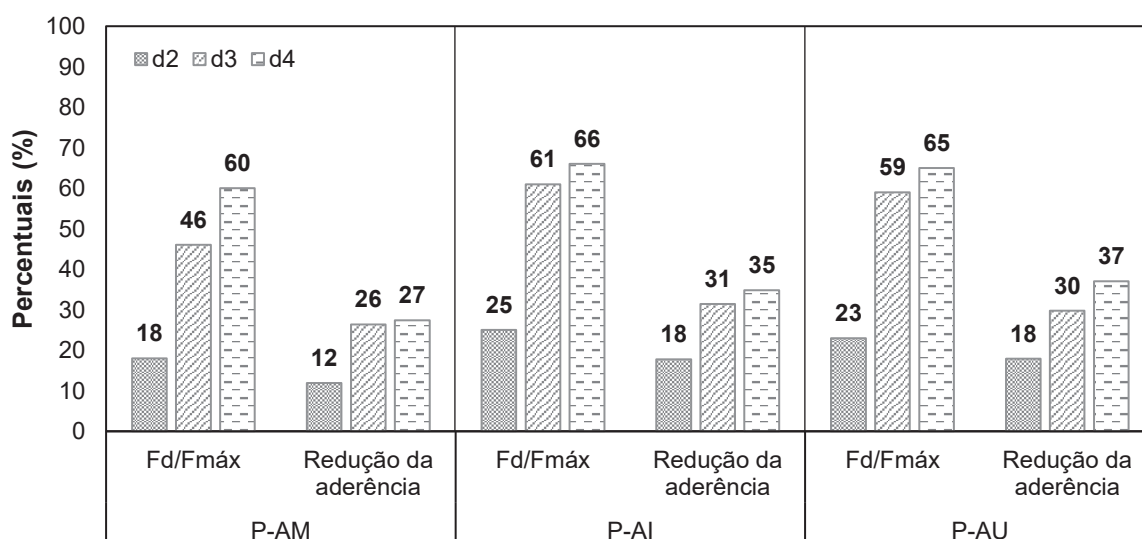


Nota: F_d (força atuante quando atingidos os deslocamentos d2, d3 e d4,); $F_d/F_{máx}$ (relação entre a força atuante a força máxima).

FONTE: A autora (2024).

Observa-se que o aumento das forças atuantes sobre os prismas resultou em reduções na resistência de aderência à tração de todos os tipos de revestimentos de argamassa. À medida que o deslocamento aumentou, tanto as forças constantes aplicadas (F_d) quanto as relações entre estas e as forças máximas ($F_d/F_{máx}$) também aumentaram, indicando uma redução na eficiência da aderência em deslocamentos mais elevados. A FIGURA 70 mostra os percentuais da força aplicada em relação à força máxima para os deslocamentos d2, d3 e d4 nos prismas, assim como os percentuais de redução de aderência nessas condições em comparação com o d0.

FIGURA 70 – Percentuais de aplicação de cargas e reduções da aderência



FONTE: A autora (2024).

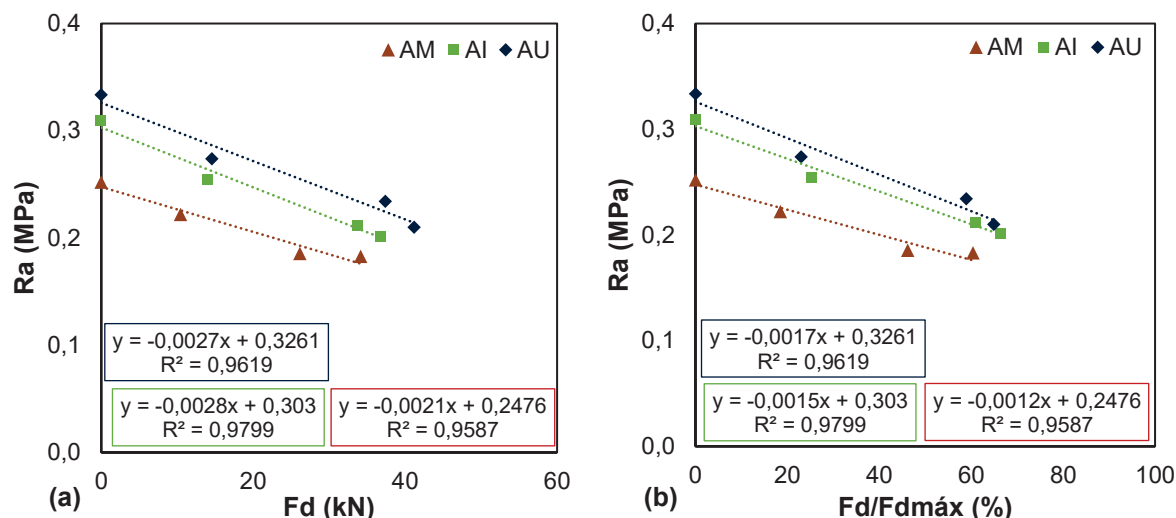
É possível observar que, para todas as argamassas, a aplicação do menor deslocamento (d2) impactou de forma mais suave nas reduções de aderência. No entanto, da aplicação do deslocamento d2 para o d3, nota-se que as forças aplicadas aumentaram em maior percentual em relação à força de ruptura, o que resultou em maiores reduções de aderência. O impacto do aumento do deslocamento de d2 para d3 causou reduções de 13,28%, 17,42% e 16,44% para as argamassas mista, industrializada e estabilizada, respectivamente.

Por outro lado, do deslocamento d3 para d4, as reduções foram menores, sendo de 3,34%, 4,27% e 4,35% para as mesmas argamassas, correspondendo a aumentos de carga de 14%, 5% e 6%, em relação à condição anterior. A análise estatística da aderência das argamassas, realizada anteriormente por meio do teste t, revelou diferenças significativas nos resultados entre os deslocamentos d0 e d2, assim como entre d2 e d3, para os três tipos de revestimentos de argamassa. Contudo, não foram identificadas diferenças significativas entre os deslocamentos d3 e d4.

Isso indica que cargas compressivas relativamente baixas em comparação à carga de ruptura não impactaram de forma significativa a aderência. Entretanto, a partir do deslocamento d3, com solicitações médias superiores a 55% da tensão de ruptura, as reduções na aderência se tornaram mais acentuadas, embora a diferença entre os deslocamentos d3 e d4 tenha sido apenas ligeiramente menor e não significativa.

Os prismas alcançaram forças de cerca de 65%, 61% e 60% das máximas admissíveis, para as argamassas de revestimento mista, industrializada e estabilizada, respectivamente, quando executado o ensaio de aderência sob a maior condição de deslocamento. Os valores médios da resistência de aderência e das forças constantes aplicadas (F_d), bem como das relações entre as forças aplicadas com as forças máximas ($F_d/F_{máx}$) foram submetidos a uma análise de regressão linear, conforme apresentado na FIGURA 71a e FIGURA 71b, respectivamente.

FIGURA 71 – Relações entre resistência de aderência e: força (a) e força atuante/força máxima (b)



FONTE: A autora (2024).

Os coeficientes de determinação mostraram correlações muito fortes entre as forças aplicadas e a resistência de aderência à tração, para todas as argamassas. Em ambas as correlações, esses coeficientes foram iguais devido à proporcionalidade das propriedades analisadas. Esses resultados evidenciam que o aumento das forças atuantes nos prismas contribuiu para a redução da resistência de aderência à tração da argamassa ao substrato.

4.3.2 Relação entre a resistência de aderência à tração das argamassas e o módulo de deformação dos prismas submetidos à deslocamentos

As aplicações das forças de compressão sobre os prismas, com o objetivo de atingir os diferentes deslocamentos pré-estabelecidos para a execução simultânea do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas, lhes conferiu diferentes condições de rigidez.

A partir das curvas, é convencional e normatizado determinar o módulo de elasticidade de materiais considerando as tensões e deformações nos pontos correspondentes a 5% e 30% da tensão máxima de ruptura, ainda na fase elástica da curva. No entanto, verificou-se que no momento do ensaio de aderência, os valores de tensão e deformação dos prismas encontravam-se na fase elástica apenas para o deslocamento d2. Para os deslocamentos d3 e d4, as tensões atuantes superaram os

30%. Portanto, nestes pontos, os módulos de deformação dos prismas foram calculados pela razão entre tensão atuante e a respectiva deformação.

A TABELA 30 apresenta os valores médios do módulo de deformação dos prismas revestidos com as argamassas mista, industrializada e estabilizada, para os deslocamentos estabelecidos, com os respectivos desvios padrão e coeficientes de variação. Os resultados individuais dos módulos de deformação dos prismas estão detalhados na TABELA C17, do Apêndice C.

TABELA 30 – Módulo de deformação dos prismas sob deslocamentos

Deslocamento	P-AM			P-AI			P-AU		
	Média (GPa)	DP (GPa)	CV (%)	Média (GPa)	DP (GPa)	CV (%)	Média (GPa)	DP (GPa)	CV (%)
d2	4,49	0,29	6,42	7,85	0,28	3,58	6,28	0,34	5,43
d3	5,15	0,17	3,38	8,48	0,76	8,94	6,71	0,24	3,58
d4	5,30	0,40	7,55	8,98	0,42	4,72	6,91	0,27	3,98

FONTE: A autora (2024).

Os resultados mostraram-se similares aos observados nos ensaios preliminares, em que a aplicação dos diferentes revestimentos influenciou as características dos prismas em termos de rigidez e resistência. Os prismas revestidos com argamassa mista apresentaram maiores deformações em comparação com os revestidos com as outras argamassas, sob as mesmas tensões, resultando em menores módulos de deformação.

Os prismas revestidos com argamassas industrializada e estabilizada apresentaram maiores inclinações, exigindo tensões mais elevadas para alcançar as mesmas deformações que os prismas revestidos com argamassa mista, indicando módulos de deformação superiores.

A análise estatística do módulo de deformação dos prismas foi realizada por meio do teste t entre os pares de deslocamentos d2 e d3, d2 e d4, e d3 e d4, para cada tipo de revestimento de argamassa. Os resultados estão apresentados na TABELA 31, e os detalhes dos testes encontram-se na TABELA D8, do Apêndice D.

TABELA 31 – Teste t do módulo de deformação dos prismas revestidos em diferentes deslocamentos

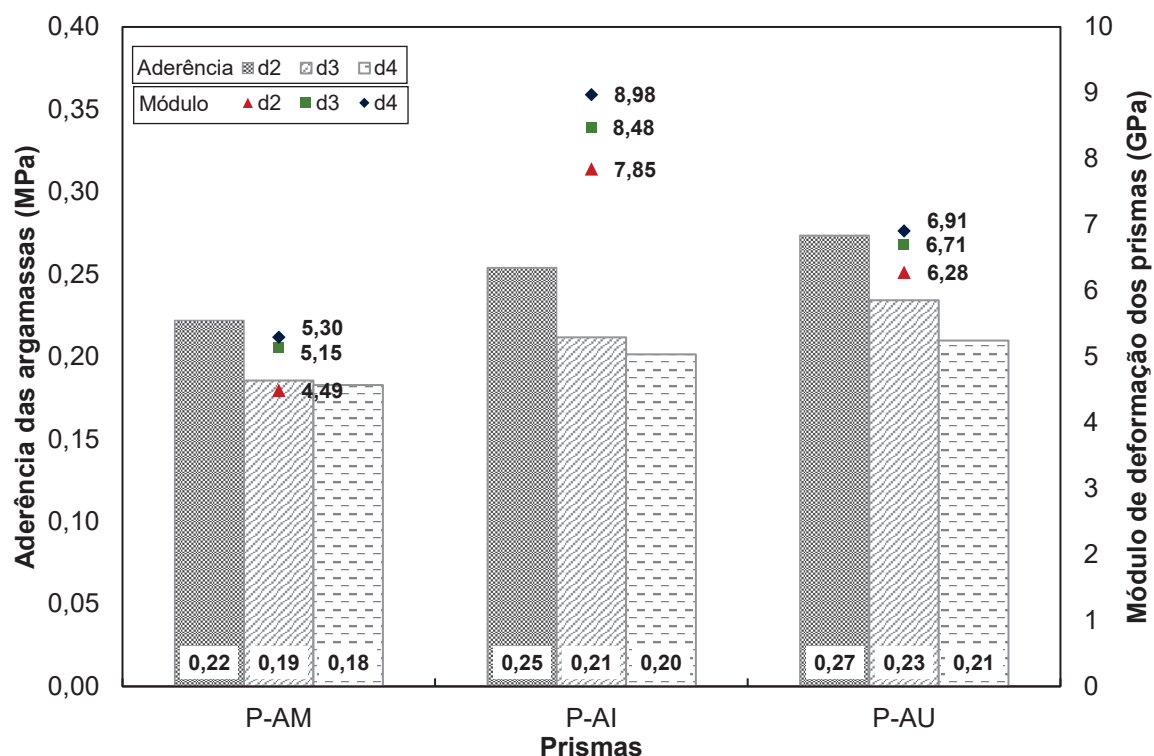
Argamassa mista						
Prismas	P-AM-d2	P-AM-d3	P-AM-d3	P-AM-d4	P-AM-d2	P-AM-d4
Média	4,49	5,15	5,15	5,30	4,49	5,30
P(T<=t) bi-caudal	0,004	< 0,05	0,57	> 0,05	0,04	< 0,05
Análise estatística	Há diferença significativa		Não há diferença significativa		Há diferença significativa	
Argamassa industrializada						
Prismas	P-AI-d2	P-AI-d3	P-AI-d3	P-AI-d4	P-AI-d2	P-AI-d4
Média	7,85	8,48	8,48	8,98	7,85	8,98
P(T<=t) bi-caudal	0,19	> 0,05	0,32	> 0,05	0,03	< 0,05
Análise estatística	Não há diferença significativa		Não há diferença significativa		Há diferença significativa	
Argamassa estabilizada						
Prismas	P-AU-d0	P-AU-d2	P-AU-d2	P-AU-d3	P-AU-d2	P-AU-d4
Média	6,28	6,71	6,71	6,91	6,28	6,91
P(T<=t) bi-caudal	0,32	> 0,05	0,36	> 0,05	0,04	< 0,05
Análise estatística	Não há diferença significativa		Não há diferença significativa		Há diferença significativa	

FONTE: A autora (2024).

Apenas o prisma revestido com argamassa mista apresentou uma diferença estatisticamente significativa no módulo de deformação entre os deslocamentos d2 e d3. Entre os deslocamentos d3 e d4, nenhum prisma apresentou diferenças significativas. No entanto, ao comparar o deslocamento d2 com o d4, foram observadas diferenças nos prismas revestidos com os três tipos de argamassas.

Os valores médios do módulo de deformação dos prismas, obtidos nos ensaios realizados sob aplicação dos deslocamentos d2, d3 e d4, estão apresentados na FIGURA 72, juntamente com os valores de resistência média de aderência à tração das argamassas mista, industrializada e estabilizada.

FIGURA 72 – Resistência de aderência à tração das argamassas e módulo de deformação dos prismas submetidos à deslocamentos

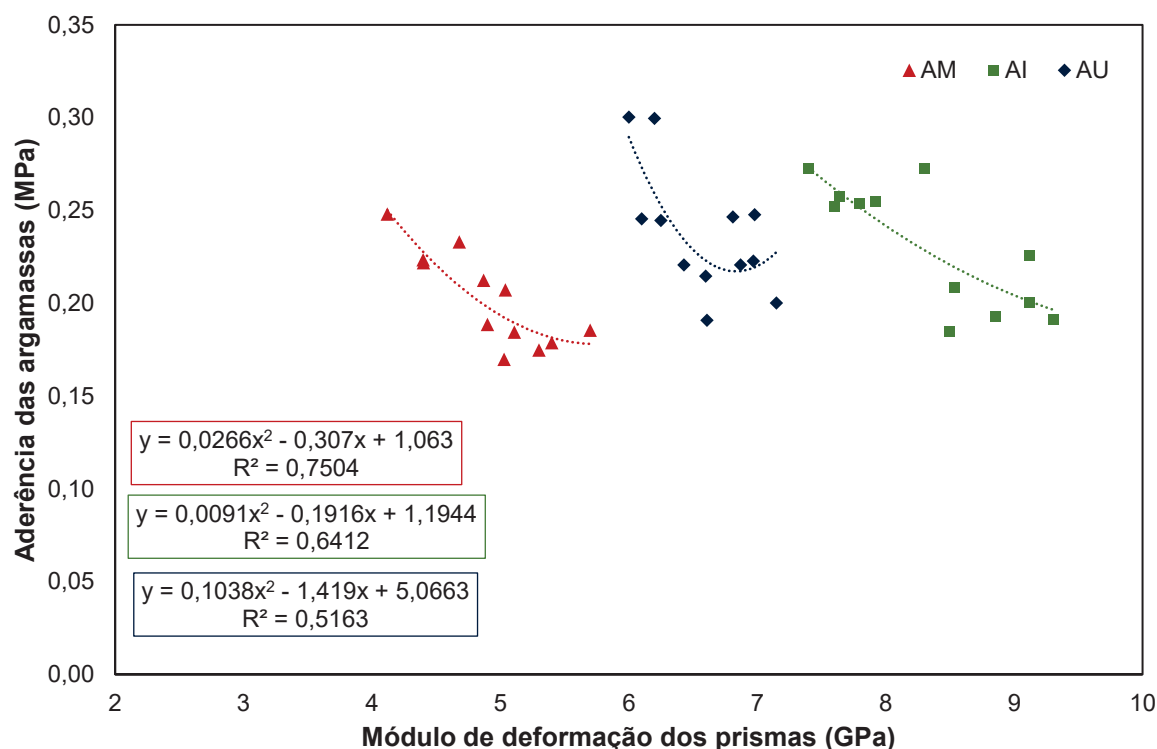


FONTE: A autora (2024).

Observa-se que a aplicação dos deslocamentos conferiu tanto maior rigidez aos prismas quanto redução da resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento aplicadas sobre eles. Como já observado, o revestimento de argamassa mista foi o que promoveu menor rigidez aos prismas. Os prismas revestidos com argamassa industrializada apresentaram os mais altos valores de módulo de deformação para os três deslocamentos, acompanhados das maiores reduções na aderência. É possível notar que a resistência média de aderência à tração desses prismas se reduziu a ponto de se aproximar dos valores apresentados pelos revestimentos de argamassa mista para os deslocamentos d3 e d4.

Para melhorar compreensão desse comportamento, os valores de resistência de aderência à tração das argamassas e os módulos de deformação dos prismas, foram submetidos a uma análise de regressão, conforme mostrado na FIGURA 73.

FIGURA 73 – Relação entre a resistência de aderência à tração das argamassas e o módulo de deformação dos prismas submetidos à deslocamentos



FONTE: A autora (2024).

Os valores foram ajustados utilizando uma regressão exponencial. A análise do gráfico da FIGURA 73 sugere que a deformabilidade dos prismas influenciou o desempenho da aderência de todas as argamassas, no entanto de maneiras diferentes, como reportados pelos coeficientes de determinação para a argamassa mista ($R^2 = 0,75$), industrializada ($R^2 = 0,64$) e estabilizada ($R^2 = 0,52$). Fica evidente que aumentos no módulo de deformação dos prismas impactaram negativamente na resistência de aderência à tração das argamassas, conforme indicado no gráfico.

A curva observada para a argamassa de revestimento mista, que é a mais deformável entre as argamassas analisadas, apresenta um intervalo menos acentuado nos valores médios de resistência de aderência à tração, visualizado pela curva mais suave. Isso reafirma sua menor susceptibilidade aos deslocamentos aplicados sobre os prismas e ao aumento do módulo de deformação. A maior capacidade dessa argamassa de absorver esforços e dissipá-los através de microfissuras ou fissuras praticamente imperceptíveis contribuiu para reduzir o comprometimento da aderência do revestimento.

Por outro lado, a resistência de aderência à tração tanto da argamassa industrializada quanto da argamassa estabilizada mostrou-se mais sensível às variações no módulo de deformação dos prismas, como evidenciado pelas curvas mais acentuadas no gráfico. Considerando as variações dos deslocamentos entre d2 e d4, os percentuais de redução da aderência foram de 17,05% e 19,12% para as argamassas industrializada e estabilizada, enquanto para a argamassa mista foi de 15,52%.

Possivelmente, a rigidez característica da argamassa industrializada tornou-a menos adaptável às variações na rigidez dos prismas, resultando no comprometimento da aderência. Argamassas mais rígidas apresentaram maiores restrições quanto ao seu uso, enquanto argamassas mais flexíveis demonstraram uma aplicação mais ampla. Isso ressalta a importância da escolha de argamassas adequadas para aplicações específicas, levando em consideração não apenas suas propriedades físicas e resistências mecânicas, mas também sua capacidade de adaptação e deformação. Argamassas com maiores valores para propriedades mecânicas podem ser vantajosas em situações onde os deslocamentos são mínimos. No entanto, em situações onde deslocamentos maiores são esperados, argamassas com capacidade intermediária de absorção de deformações podem ser mais adequadas para evitar falhas na aderência e garantir a durabilidade do revestimento.

A argamassa estabilizada apresentou um comportamento mecânico intermediário dentre as argamassas analisadas. Suas propriedades mecânicas permitiram que ela se flexionasse e mantivesse aderência ao substrato, mesmo sob compressão. Isso ocorreu porque ela não conferiu uma rigidez tão alta ao prisma a ponto de se deslocar sob deslocamentos tão baixos quanto o revestimento de argamassa industrializada. Além disso, apresentou resistências mecânicas superiores às da argamassa mista, evitando uma ruptura relacionada a baixas resistências mecânicas. Ainda, considerando a existência de esforços externos provenientes da aplicação de revestimentos em diferentes alturas da edificação, esta argamassa apresentou menor susceptibilidade à retração, uma propriedade fundamental a ser considerada.

Diante disso, a diminuição da resistência de aderência das argamassas em resposta a cargas aplicadas sobre os prismas de alvenaria, especialmente em percentuais superiores a 50% de sua carga máxima, destaca a sensibilidade desses revestimentos às solicitações externas, enfatizando a necessidade de considerar

essas ações durante o processo de projeto e execução da alvenaria. Isso ressalta ainda a importância da compatibilidade de rigidez entre os elementos da alvenaria, garantindo que possam se deformar de maneira satisfatória sob solicitações externas para preservar sua integridade a longo prazo.

4.3.3 Resiliência e tenacidade dos prismas e suas relações com a aderência

A aplicação dos diferentes deslocamentos pré-estabelecidos sobre os prismas, para a realização simultânea do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas, proporcionou diferentes níveis de absorção de energia aos prismas naquele momento, conforme as características individuais dos materiais constituintes. A partir das curvas médias de tensão versus deformação dos exemplares de prismas revestidos, foram determinadas as resiliências médias dos prismas nos deslocamentos d2, d3 e d4, bem como a tenacidade no momento da fratura, para cada tipo de argamassa, como apresentado na TABELA 32.

TABELA 32 – Resiliência e tenacidade dos prismas nos deslocamentos

Argamassa	Prisma	Deslocamento	Resiliência e tenacidade (N/mm ²)
AM	P-AM-d2	d2	3,12
	P-AM-d3	d3	6,44
	P-AM-d4	d4	7,93
	P-AM-fratura	Fratura	9,40
AI	P-AI-d2	d2	0,69
	P-AI-d3	d3	2,29
	P-AI-d4	d4	2,89
	P-AI-fratura	Fratura	4,47
AU	P-AU-d2	d2	1,82
	P-AU-d3	d3	3,65
	P-AU-d4	d4	4,38
	P-AU-fratura	Fratura	6,81

FONTE: A autora (2024).

Todas as argamassas apresentaram desempenho crescente, alcançando os valores mais altos de tenacidade no momento da fratura. A argamassa mista apresentou maior resiliência em todos os estágios de deslocamento. Devido à sua

maior ductilidade, esta argamassa permitiu que o revestimento acomodasse as deformações sem atingir a ruptura, refletindo-se no valor mais elevado de tenacidade na fratura. Isso sugere que essa argamassa possui maior resistência à propagação de fissuras e melhor capacidade de absorver energia antes da falha, indicando maior adequação para situações que exijam maior resistência à fratura.

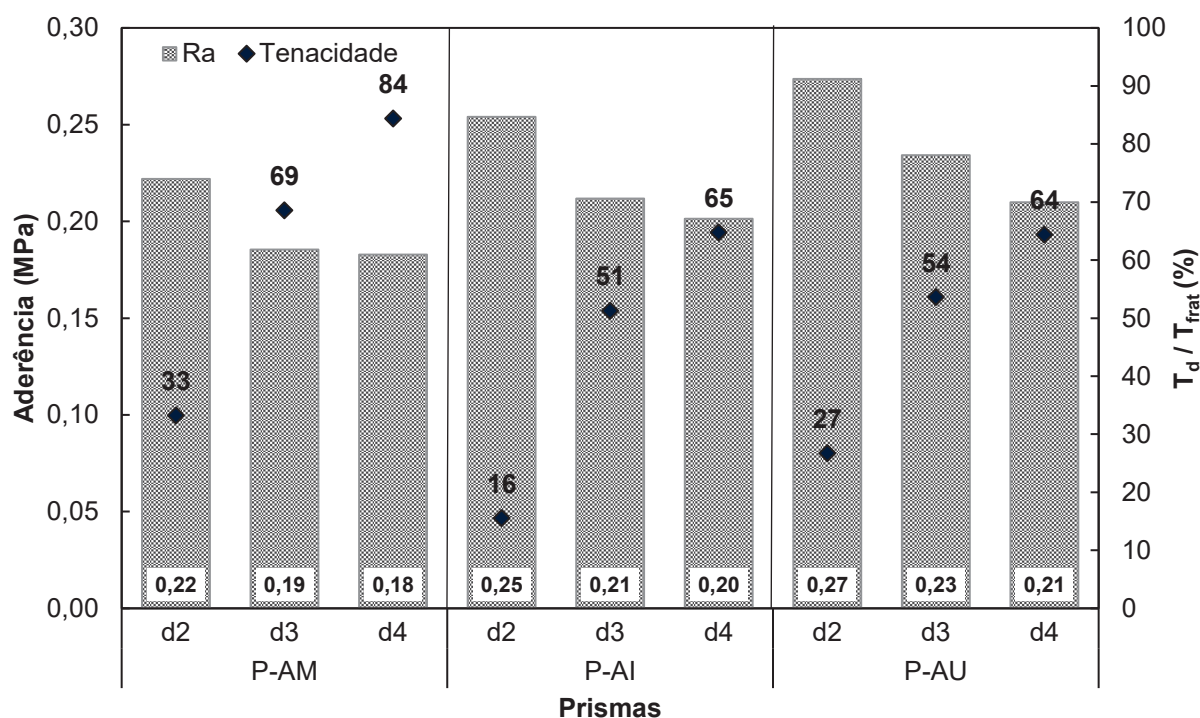
Com a aplicação de todos os deslocamentos, os prismas revestidos com argamassa mista estavam sob menores tensões de compressão em comparação àqueles revestidos com as demais argamassas, conforme previsto preliminarmente pelas curvas, no entanto, estes apresentaram as maiores deformações, devido ao seu comportamento dúctil, de tal modo que lhes conferiu mais altos valores de tenacidade.

Por outro lado, a argamassa industrializada apresentou o pior desempenho, exibindo os menores valores de resiliência em todos os deslocamentos. Tanto os valores de tensão quanto deformação desta argamassa, visualizados nas curvas tensão versus deformação são inferiores aos apresentados pelas demais argamassas. Isso indica uma capacidade inferior de absorção de energia ao longo de todo o processo. A tenacidade de um material frágil é menor do que a de um material dúctil, o que se refletiu no comportamento dos prismas revestidos com a argamassa industrializada. Sendo mais rígida, essa argamassa atingiu a ruptura mais rapidamente, demonstrando menor resistência à fratura e menor capacidade de absorção de energia antes da falha.

As curvas das argamassas estabilizadas apresentaram maiores valores de tensão, no entanto, mais baixos valores de deformação, em comparação com a argamassa mista. Como já observado anteriormente, os prismas revestidos com argamassa estabilizada foram os que suportaram os maiores esforços compressivos até atingir a ruptura. A argamassa estabilizada mostrou um desempenho intermediário. Essa análise pode ajudar na escolha da argamassa mais apropriada para diferentes aplicações, dependendo da necessidade de resistência à fratura e da capacidade de absorção de energia antes da ruptura.

A FIGURA 74 apresenta os valores de resistência média de aderência à tração das argamassas mista, industrializada e estabilizada, assim como os percentuais de resiliência determinados no momento da aplicação dos deslocamentos d2, d3 e d4, em relação ao valor da tenacidade, determinado no momento da fratura dos prismas.

FIGURA 74 – Tenacidade dos prismas nos diferentes deslocamentos



FONTE: A autora (2024).

Observa-se que os aumentos nos deslocamentos aplicados sobre os prismas resultaram em maior resiliência das argamassas, acompanhada por uma redução gradual da resistência de aderência à tração em todos os tipos de revestimentos. Com a transição do deslocamento de d2 para d3, verificaram-se os maiores aumentos percentuais na resiliência em relação à tenacidade na fratura para todas as argamassas. Os aumentos referentes à 35%, 36% e 27% destas relações, resultou em reduções de 13,28%, 17,42% e 16,44% na resistência de aderência à tração das argamassas mista, industrializada e estabilizada, respectivamente.

Por outro lado, na transição de d3 para d4, as reduções foram menores, sendo de 3,34%, 4,27% e 4,35% para as mesmas argamassas. Os aumentos percentuais na resiliência em relação à tenacidade na fratura também foram menores, correspondendo a 16%, 14% e 11% para a argamassa mista, industrializada e estabilizada, respectivamente. A análise estatística da aderência das argamassas, realizada previamente por meio do teste t, revelou diferenças significativas nos resultados entre os deslocamentos d0 e d2, bem como entre d2 e d3, para os três tipos de revestimentos de argamassa. Contudo, não foram identificadas diferenças significativas entre os deslocamentos d3 e d4.

Esses resultados indicam que, durante o deslocamento d3, que representa 69%, 51% e 54% da tenacidade na ruptura, as reduções na aderência foram mais acentuadas. Em contraste, os aumentos na resiliência provocados entre os deslocamentos d3 e d4, compreendidos na fase plástica das curvas de tensão versus deformação, não afetaram de forma tão pronunciada a aderência das argamassas.

No deslocamento d4, as argamassas apresentaram resiliências equivalentes a 84%, 65% e 64% da tenacidade de fratura para as argamassas mista, industrializada e estabilizada, respectivamente. Este comportamento é consistente com o observado anteriormente em relação às forças suportadas pelas mesmas. Os prismas alcançaram forças de cerca de 65%, 61% e 60% das máximas admissíveis para as argamassas de revestimento mista, industrializada e estabilizada, respectivamente, quando submetidos ao ensaio de aderência na mesma condição de deslocamento.

Esses resultados sugerem que a escolha da argamassa pode influenciar significativamente a resistência final dos prismas, especialmente sob condições de carga que podem levar à fratura. A argamassa mista, com sua alta tenacidade, seria a mais indicada para situações em que a capacidade de absorver energia e resistir à propagação de fissuras seja crucial. A tenacidade de uma argamassa, que é a capacidade de absorver energia e resistir à propagação de fissuras sob cargas aplicadas, desempenha um papel fundamental na durabilidade e resistência de revestimentos e estruturas.

Um material com alta tenacidade pode se deformar mais antes de falhar, enquanto um material com baixa tenacidade rompe-se rapidamente sob tensões. Portanto, uma argamassa com boa tenacidade contribui para maior durabilidade e resistência, especialmente em ambientes sujeitos a vibrações, impactos ou outras formas de carregamento dinâmico.

5 CONCLUSÕES

Este estudo visou, de um modo geral, analisar a influência da deformabilidade de prismas de alvenaria no desempenho da aderência de revestimentos de argamassa com o substrato de bloco cerâmico de vedação, mediante aplicação de deslocamentos provenientes de cargas de compressão nos prismas. Mais especificamente, buscou identificar padrões de desempenho dos revestimentos em função das diferentes propriedades no estado fresco e endurecido das argamassas mista, industrializada e estabilizada, mediante a aplicação de deslocamentos sobre os prismas. Diante disso, as seguintes conclusões podem ser destacadas:

- as argamassas demonstraram maiores resistências potenciais de aderência à tração quando exibiram maior plasticidade no estado fresco, o que favoreceu sua capacidade aumentada de deformação e adaptação às irregularidades do substrato. O uso de aditivos químicos nas argamassas estabilizadas e industrializadas promoveu esse comportamento, ao passo que as argamassas mistas apresentaram um desempenho inferior;
- em relação à deformabilidade e à retração, as argamassas industrializadas mostraram-se mais restritas quanto ao seu uso em edificações mais altas, devido à sua maior rigidez. Por outro lado, as argamassas estabilizadas, com um módulo de elasticidade mediano, e especialmente as argamassas mistas, mais flexíveis, ofereceram possibilidades de aplicações mais amplas;
- a aplicação dos revestimentos de argamassas mista, industrializada e estabilizada nos prismas resultou em aumentos na resistência à compressão dos mesmos. Os prismas revestidos com argamassa mista demonstraram maior deformação sob cargas de compressão, alcançando uma resistência intermediária (3,96 MPa), enquanto os revestidos com argamassas industrializada atingiram a ruptura sob menores tensões (3,01 MPa) e os revestidos com argamassa estabilizada resistiram a maiores esforços compressivos antes de falhar (4,32 MPa);
- a aplicação dos revestimentos de argamassas mista, industrializada e estabilizada proporcionaram aumentos na rigidez dos prismas à medida que seus módulos de elasticidade aumentaram, aliada a uma redução na

resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento aplicadas sobre eles;

- o revestimento de argamassa mista, por ser o mais deformável e possuir maior capacidade de absorver e dissipar esforços, demonstrou maior resiliência e uma redução menos acentuada na resistência de aderência à tração (27%), em comparação aos revestimentos de argamassa industrializada (35%) e estabilizada (37%), para a maior condição de deslocamento, evidenciando sua menor susceptibilidade ao aumento do módulo de deformação dos prismas;
- os prismas revestidos com as argamassas industrializadas e estabilizadas enfrentaram maior dificuldade em se movimentar sem se descolar do substrato, evidenciado pelos percentuais de redução de aderência, com variações de 17,05% e 19,12%, ao analisar o intervalo dos deslocamentos de d2 a d4, para ambas as argamassas, respectivamente;
- a argamassa estabilizada apresentou um comportamento mecânico intermediário entre as argamassas estudadas, com os maiores valores de aderência ao substrato em todas as condições, acompanhados por uma redução intermediária na aderência em d3 (30%) e ligeiramente superior em d4 (37%), comparadas às observadas na argamassa mista e industrializada;
- a maior rigidez da argamassa industrializada pode ter limitado a capacidade de absorver deformações dos prismas sob carga compressiva, promovendo uma ruptura frágil com o descolamento do revestimento do substrato, aliado à uma menor resiliência em todos os deslocamentos e tenacidade na fratura.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realização de simulações numéricas para comparações com a metodologia experimental, a fim de analisar o comportamento dos revestimentos de argamassa sob diferentes condições de deslocamentos e aplicações de cargas de compressão;
- Análise das deformações horizontais dos revestimentos de argamassa sob diferentes condições de deslocamentos e aplicações de cargas de compressão;

- Mapeamento da distribuição dos esforços atuantes sobre os prismas e paredes e sua influência na resistência de aderência do revestimento de argamassa ao substrato;
- Investigar a resistência à fadiga dos revestimentos de argamassa, submetendo-os a ciclos repetidos de carga e descarga para simular as condições reais de uso ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- ANTONIAZZI, J. P. **O efeito dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação nas propriedades das argamassas estabilizadas**. Santa Maria, 2019. 258 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.
- ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2005. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ANTUNES, G. R.; MASUERO, A. B. Flexural tensile strength in mortar coating reinforced with different types of metal mesh: A statistical comparison. **Construction and Building Materials**, v. 121, p. 559-568, 2016.
- AMJAD, M. A. Elasticity and shrinkage of cement: sand mortar produced in riyadh. **Engineering Science**, v. 11, n. 2, p. 91-105, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7175**: cal hidratada para argamassas. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8522**: concreto endurecido - determinação dos módulos de elasticidade e de deformação. Parte 1: Módulos estáticos à compressão. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13276**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281-1**: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 1: Argamassas para revestimento de paredes e tetos. Rio de Janeiro, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13281-2**: Argamassas inorgânicas — Requisitos e métodos de ensaios. Parte 2: Argamassas para assentamento e argamassas para fixação de alvenaria. Rio de Janeiro, 2023.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-1**: componentes cerâmicos - blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: requisitos. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15270-2**: componentes cerâmicos - blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-1**: edificações habitacionais – desempenho. Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15575-2**: edificações habitacionais – desempenho. Parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

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

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697**: cimento Portland – requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16868-3**: alvenaria estrutural - parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16973**: determinação do material fino que passa pela peneira de 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 17054**: agregados - Determinação da composição granulométrica - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16972**: Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16916**: Agregado miúdo - Determinação da densidade e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). **Pesquisa setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil** / organizadores S. C. Angulo; L. S. Oliveira, L. Machado – São Paulo: Epusp, 2022. 104 p.

ALMEIDA JR., H.; LOPEZ, I. J.; MARTINS, J. M.; SABBATINI, F. H. Avaliação dos revestimentos produzidos com argamassas industrializadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: UFG/ANTAC. 1995, p. 236.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **C469/C469M**: standard test method for static modulus of elasticity and Poisson's, Pensilvânia, Estados Unidos, 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **C597-16**: standard test method for pulse velocity through concrete, Pensilvânia, Estados Unidos, 2016.

ANGELIM, R. R. Eficiência do reparo do substrato de blocos cerâmicos com solução de cal com resistência de aderência dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC; ANTAC, 2005. p. 530.

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

APOLÔNIO, P. H.; MOTA, J. M. F.; BARBOSA, F. Análise comparativa da resistência de aderência do chapisco com diferentes relações água/ligante e adição de metacaulim. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 11., 2015, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, UFRGS, ANTAC, 2015.

ARAGÓN, G.; ARAGÓN, A; SANTAMARÍA, A; ESTEBAN, A; FIOL, F. Physical and mechanical characterization of a commercial rendering mortar using destructive and non-destructive techniques. **Construction and Building Materials**, v. 224, p. 835–849, 2019.

ARANDIGOYEN, M.; BERNAL, J.; LOPEZ, M.; ALVAREZ, J. Lime-pastes with different kneading water: pore structure and capillary porosity. **Applied Surface Science**, v. 252, n. 5, p. 1449-1459, 2005.

ASSALI, M. P.; LOH, K. Viabilidade do emprego de agentes retardadores em substituição aos desmoldantes convencionais na moldagem de concreto para aplicação de argamassas de revestimento. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 7-23, out./dez. 2011.

AZEVEDO, A.; DELGADO, J. Q.; GUIMARÃES, A.; SILVA, F. A.; OLIVEIRA, R. Compression behaviour of clay bricks prisms, wallets and walls - Coating influence. **Revista de la Construcción**, v. 18, n. 1, p. 123-133, 2019.

BAÍA, L. L. M.; SABBATINI, F. H. **Projeto e execução de revestimentos de argamassa**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2016, 88 p.

BAGHI, H.; OLIVEIRA, A.; VALENÇA, J.; CAVACO, E.; NEVES, L.; JÚLIO, E. Behavior of reinforced concrete frame with masonry infill wall subjected to vertical load. **Engineering Structures**, v. 171, p. 476–487, 15 set. 2018.

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

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. 172 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil e Urbana, 2001.

BAUER, E. **Sistemas de revestimentos de argamassa: generalidades**. In: BAUER, E. (Coord.). *Revestimentos de argamassa: características e peculiaridades*. Brasília: LEM-UnB; Sinduscon-DF, 2005.

BAUER, E.; DE SOUSA, J. G. G.; GUIMARÃES, E. A.; SILVA, F. G. S. Study of the laboratory Vane test on mortars. **Building and Environment**, v. 42, n.1, p. 86–92, 2007.

BAUER, E.; PIAZZAROLLO, C. B.; SOUZA, J. S.; SANTOS, D. G. Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, v. 5, n. 7, 2020.

BAUER, E.; REGUFFE, M.; NASCIMENTO, M. L. M.; CALDAS, L. R. Requisitos das argamassas estabilizadas para revestimento. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 11., 2015, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, UFRGS, ANTAC, 2015.

BAUER, E.; SILVA, M. N. B.; ZANONI, V. A. G. Mensuração da degradação e vida útil em fachadas. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 11., 2015, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, UFRGS, ANTAC, 2015.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23-43, out./dez. 2021.

BELLEI, P.; ARROMBA, J.; FLORES-COLEN, I.; VEIGA, R.; TORRES, I. Influence of brick and concrete substrates on the performance of renders using in-situ testing techniques. **Journal of Building Engineering**, v. 43, 1 nov. 2021.

BELLEI, P.; CATEN, A. T. Avaliação do desempenho da argamassa estabilizada de 36 e 72 h para revestimento externo em diferentes tempos de utilização e modo de armazenamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 13., Goiânia, 2019. Anais... Goiânia, 2019.

BERNARDO, H. M.; ROMANO, R. C. de O.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. Efeito da absorção de água e do tipo de substrato no desempenho de argamassa de revestimento nos estados fresco e endurecido, **Ambiente Construído**, v. 20, n. 3, p. 493–511, 2020.

BOLORINO, H.; CINCOTTO, M. A. A influência do tipo de cimento nas argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997.

BOTAS, S.; VEIGA, R.; VELOSA, A. Bond strength in mortar/ceramic tile interface-testing procedure and adequacy evaluation. **Materials Structures**, v. 50, n. 211, 2017.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 14146**: Natural stone test methods - determination of the dynamic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency). London, 2004.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 12504-4**: testing concrete in structures determination of ultrasonic pulse velocity. London, 2021.

BROCKEN, H. J. P.; SPIEKMAN, M. E.; PEL, L.; KOPINGA, K.; LARBI, J. A. Water extraction out of mortar during brick laying: a NMR study. **Materials and Structures**, v. 31, 49–57, 1998.

CABEZAS, J. J. F. Mechanical properties of load bearing walls made of uruguayan hollow ceramic bricks. **Revista de la Construcción**, v. 14, n. 3, p. 15-21, 2015.

CALDEIRA, F. E.; NALON, G. H.; OLIVEIRA, D. S. DE; PEDROTI, L. G.; RIBEIRO, J. C. L.; FERREIRA, F. A.; CARVALHO, J. M. F. DE. Influence of joint thickness and strength of mortars on the compressive behavior of prisms made of normal and high-strength concrete blocks. **Construction and Building Materials**, v. 234, p. 117419, 2020.

CALDERÓN, S.; ARNAU, O.; SANDOVAL, C. Detailed micro-modeling approach and solution strategy for laterally loaded reinforced masonry shear walls. **Engineering**

Structures, v. 201, 15 dez. 2019.

CAMACHO, J. S.; LOGULLO, B. G.; PARSEKIAN, G. A.; SOUDAIS, P. R. N. The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behavior. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 8, n. 3, p. 341–352, 2015.

CAMPOS, G. M.; CASALI, J. M.; MACIOSKI, G. Estudo do tempo de início de pega de argamassas com aditivo estabilizador de hidratação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO CBC2013, 55., 2013, Gramado. Anais... Gramado: IBRACON, 2013.

CANDIA, M. C. **Contribuição ao estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. 198 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

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

CARASEK, H. Argamassas. In: Geraldo C Isaia. (Org.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 2ed. São Paulo: IBRACON, 2010, v. 1, p. 898-943.

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. Anais... Salvador: ANTAC, 1997. p. 133.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SANTOS, P. F. Avaliação de revestimentos em Argamassas contendo saibro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: UFG/ANTAC. 1995.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos Materiais na Aderência dos Revestimentos de Argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSA, 4., 2001, Brasília. Anais... Brasília: ANTAC, 2001.

CARASEK, H.; SCARTEZINI, L. M. Evolução da Resistência de aderência dos Revestimentos de Argamassa Mista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSA, 3., 1999, Vitória. Anais... Vitória: ANTAC, 1999. p. 503.

CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. Rheological behavior of mortars under different squeezing rates. **Cement Concrete Research**, v. 39, n. 9, p 748–753, set. 2009.

CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G.; BANFILL, P. F. G. Characterization of rendering mortars by squeeze-flow and rotational rheometry. **Cement and Concrete Research**, v. 57, p. 79–87, 2014.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas**. 213 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CARRASCO, E. V. M.; MAGALHAES, M. D. C.; SANTOS, W. J. D.; ALVES, R. C.; MANTILLA, E. J. N. R. Characterization of mortars with iron ore tailings using destructive and nondestructive tests. **Construction and Building Materials**, v. 131, p. 31-38, jan. 2017.

CARVALHO JR., A. N. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados: uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico**. 331 p. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

CARVALHO JR., 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: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: UFG/ANTAC. 1995, p. 261-270.

CARVALHO JR., A. N.; RIBAS, L. C. Ganhos no potencial produtivo através da substituição de argamassa de revestimento rodada em obra por industrializada em sacos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49., Anais... Bento Gonçalves, RS, 2007.

CARRETERO-AYUSO, M. J; RODRÍGUEZ-JIMÉNEZ, C. E.; BIENVENIDO-HUERTAS, D.; MOYANO, J. J. Interrelations between the types of damages and their original causes in the envelope of buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 39, 2021.

CASALI, J. M.; NETO, A. M.; ANDRADE, D. C.; ARRIAGADA, N. T. Avaliação das propriedades do estado fresco e endurecido da argamassa estabilizada para revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 9., 2011, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ANTAC, 2011.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation – Cahier MERUC. Livraison 341, cahier 2669- 3, juillet-août 1993. Paris, 1993.

CERQUEIRA, N. A.; MARVILA, M.; AZEVEDO, A.; ALEXANDRE, J.; XAVIER, G.; SOUZA, V. Analysis of deformability modulus by linear and nonlinear elastic methods

in ceramic structural masonry and mortars. **Cerâmica**, v. 66, n. 379, p. 229–235, 1 jul. 2020.

CINCOTTO, M. A.; QUARCIONI, V. A.; JOHN, V. M. Cal na construção civil. In: Geraldo C Isaia. (Org.). *Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais*. 1ed. São Paulo: IBRACON, 2007, v. 1, p. 695-726.

COSTA, E. B. C. **Análise de parâmetros influentes na aderência de matrizes cimentícias**. 156 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2014.

COSTA, E. B. C.; CARDOSO, F. A.; JOHN, V. M. Influence of high contents of limestone fines on rheological behaviour and bond strength of cement-based mortars. **Construction and Building Materials**, v. 156, p. 1114–1126, Dec. 2017.

COSTA, E. B. C.; FRANÇA, M. S.; BERGOSSI, F. L. N.; BORGES, R. K. Squeeze flow of mortars on brick substrate and its relation with bond strength. **Construction and Building Materials**, v. 265, p. 120298, 30 dez. 2020.

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

COSTA, M. R. M. M.; FRANCO, L. S. Método construtivo de alvenaria de vedação de blocos de concreto celular autoclavado. São Paulo: EPUSP, 1996. Boletim técnico n. 161.

DAMAS, A. L.; VEIGA, M. R.; FARIA, P.; SILVA, A. S. Characterization of old azulejos setting mortars: a contribution to the conservation of this type of coatings, **Construction and Building Materials**, v. 171, p. 128–139, 2018.

DE AZEVEDO, C. F.; DE CARVALHO, J. M. F.; MENDES, J. C.; CASTRO, A. S. S.; BARRETO, R. R.; PEIXOTO, R. A. F. Compressive strength of reduced concrete specimens considering dimensional distortion of coarse aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 257, n. 119448, 2020.

DENIZ, S.; ERDOGAN, S. T. Prediction of elastic moduli development of cement mortars using early age measurements. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 27, n. 1, p. 1–9, 2015.

DEHGHAN, S. M.; NAJAFGHOLIPOUR, M.A.; BANESHI, V.; ROWSHANZAMIR, M. Mechanical and bond properties of solid clay brick masonry with different sand grading. **Construction and Building Materials**, v. 174, p. 1–10, 2018.

DE SOUSA, C.; BARROS, J. A. O.; CORREIA, J. R. In-plane cyclic behaviour of RC frames strengthened with composite sandwich panels. **Engineering Structures**, v. 251, 15 jan. 2022.

DIOGENES, A. G.; CABRAL, A. E. B. Análise do comportamento de argamassas de revestimento com areia de britagem da região metropolitana de fortaleza. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12., 2017, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2017.

DONADELLO, M.; EHRENBRING, H. Z.; PACHECO, F.; CHRIST, R.; TUTIKIAN, B. F. Análise da resistência à compressão de alvenarias de blocos cerâmicos assentados com argamassa cimentícia e composto polimérico. **Revista Matéria**, v. 28, n. 1, 2023.

DUALIBE, R. P.; CAVANI, G. R.; OLIVEIRA, M. C. B. Influência do tipo de projeção da argamassa na resistência de aderência à tração e permeabilidade à água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis. Anais... Florianópolis: UFSC; ANTAC, 2005. p. 508.

ERTEMIR, D. Y.; EDIS, E. Sustaining modern heritage buildings: visual defect categorisation guides for the general condition survey of rendered-painted facades. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 41, n. 3, p. 606-624, 2022.

FARIA, P.; MARTINS, A. Influence of curing conditions on lime and lime- metakaolin mortars. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DURABILITY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS, 12, 2011, Porto. Proceedings... Porto, Portugal, 2011.

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

FARINHA, C.; BRITO, J.; VEIGA, M. R. **Eco-efficient rendering mortars: use of recycled materials**. Duxford: Woodhead Publishing, 2021.

FATHY, A. M.; PLANAS, J.; SANCHO, J. M. A numerical study of masonry cracks. **Engineering Failure Analysis**, v. 16, n. 2, p. 675–689, mar. 2009.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. DE; FREITAS, V. DE. On-site performance assessment of rendering façades for predictive maintenance. **Structural Survey**, v. 29, n. 2, p. 133–146, 2011.

FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. DE; FREITAS, V. DE. Expected render performance assessment based on impact resistance in situ determination. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 9, p. 2997–3004, set. 2009.

FLORIDO, P. G. V. P.; LORDSLEEM JR., A. C.; PÓVOAS, Y. V. Polymer-modified mortar flexibility of the masonry-concrete structure interface. Case **Studies in Construction Materials**, v. 20, n. e03225, 2024.

FORTES, E. S.; PARSEKIAN, G. A.; CAMACHO, J. S.; FONSECA, F. S. Compressive strength of masonry constructed with high strength concrete blocks Resistência a compressão da alvenaria estrutural com. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 10, n. 6, p. 1273–1295, 2017.

FRANCIS, A.; THOMAS, A. Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability A review of existing literature to decipher broader dimensions. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, p. 119913, 2019.

GARCIA-RAMONDA, L.; PELÀ, L.; ROCA, P.; CAMATA, G. Cyclic shear compression testing of brick masonry walls repaired and retrofitted with basalt textile reinforced mortar. **Composite Structures**, v. 283, 1 mar. 2022.

GASQUES, E. G. F.; OYAMADA, G. P. G.; SOUZA, A. R.; PIASECKI, A.; GASQUES, A. C. F. Influência de fibras de polipropileno na propriedade de aderência em argamassas de revestimento. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

GOTTLIEB, C. R.; POLESELLO, E. Estudo de diferentes tipos de argamassas aplicadas em substrato cerâmico com e sem tratamento superficial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 14., 2023, João Pessoa. Anais... ANTAC, 2023.

GOVIN, A.; BARTHOLIN, M.; BIASOTTI, B.; GIUDICI, M.; LANGELLA, V.; GROSSEAU, P. Modification of water retention and rheological properties of fresh cement-based mortars by guar gum derivatives. **Construction and Building Materials**, v. 122, p. 772–780, 2016.

GRANDES, F. A.; SAKANO, V. K.; REGO A. C. A.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Squeeze flow coupled with dynamic pressure mapping for the rheological evaluation of cement-based mortars. **Cement and Concrete Composites**, v. 92, p. 18-35, 2018.

GRANDES, F. A.; SAKANO, V. K.; REGO A. C. A.; REBMANN, M. S.; CARDOSO, F. A.; PILEGGI, R. G. Rheological behavior and flow induced microstructural changes of cement-based mortars assessed by pressure mapped squeeze flow. **Powder Technology**, v. 393, p. 519–538, 2021.

GROOT, C. J.; LARBI, J. A. The influence of water flow (reversal) on bond strength development in young masonry. **Heron**, vol. 44, n. 2, 1999.

GUAN, W.; ALUM, J.; LIU, Z. J.; YANG, T. Performance of external tiled-wall systems under tropical weathering. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 11, n. 1, p. 24–34, 1997.

GUAN, W.; ALUM, J.; ZHAO, Z. Y.; ZHANG, W. L.; LIU, Z. J. Impact of workmanship on performance of tiled-wall systems. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 11, n. 2, p. 82–9, 1997.

HAACH, V. G.; CARRAZEDO, R.; OLIVEIRA, L. M. F.; CORRÊA, M. R. S. Application of acoustic tests to mechanical characterization of masonry mortars. **NDT & International**, v. 59, p. 18–24, 2013.

HALL, C. Water movement in porous building materials – I. Unsaturated flow theory and its applications. **Building and Environment**, vol. 12, p. 117–125, 1977.

HALLBERG, D. **Systemfor predictive life cyclemanagement of buildings and infrastructures**. Tese de doutorado. Centre for Build Environment, KTH Research School - HIG, University of Gävle, Sweden, 2009.

HAN, S.; KIM, J. Effect of temperature and age on the relationship between dynamic and static elastic modulus of concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 1219–1227, 2004.

HENDRICKX, R.; VAN BALEN, K.; VAN GEMERT, D.; ROELS, S. Measuring and modelling water transport from mortar to brick, In: WTA INTERNATIONAL PHD SYMPOSIUM, 1., 2009, Delft. Proceedings... the Netherlands, 2009. p. 175–194.

HENDRY, A. W.; SINHA, B. P.; DAVIES, S. R. Design of masonry structures. department of civil engineering. University of Edinburgh. UK. E & FN SPON. 3^a ed. London, 2004.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry. Paris: IEA, 2018.

IOPPI, P. R.; PRUDÊNCIO, L. R.; IRIYAMA, W. J. Estudos da absorção inicial de substratos de concreto: metodologia de ensaio na aderência das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: ANTAC, 1995. p. 93.

ISMAIL, N.; INGHAM, J. M. In-situ and laboratory based out-of-plane testing of unreinforced clay brick masonry walls strengthened using near surface mounted twisted steel bars. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 119–128, nov. 2012.

JANTSCH, A. C. A.; MOHAMAD, G.; SCHMIDT, R. P. B.; ANTONIAZZI, J. P.; LÜBECK, A. Avaliação do comportamento de revestimentos em argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 81-99, jan./mar. 2021.

JAVED, K.; HASSAN, M. I.; FAROOQ, M. A.; SHARIF, M. B. Detailed investigation of compressive and bond strength for sustainable brick masonry developed by using various types of bricks and green mortars. *Journal of Building Engineering*, v 84, n. 108477, 2024.

JENNINGS, V. A.; WERNER, A. M.; PARK, C.; LANGE, D. A. Water transport phenomena between brick and mortar. **The Masonry Society Journal**, vol. 18, n. 2, p. 61–74, 2000.

JIAO, Z.; WANG, Y.; ZHENG, W.; HUANG, W.; ZHAO, Y. Bond properties of alkali-activated slag concrete hollow block masonry with different mortar strength grades. **Construction and Building Materials**, v. 216, p. 149–165, 2019.

JING, J.; ZHOU, C.; LIN, C. Compressive behavior of brick masonry columns confined with composites embedded in the horizontal mortar joint. **Sctructures**, v. 57, n. 105120, 2023.

JONAITIS, B.; ZAVALIS, R.; OGANIAN, J. Experimental investigation of the behaviour of brick lintels. **Procedia Engineering**, v. 172, p. 465–472, 2017.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão**. 126p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

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. 1, n. 3, pp. 47-58, 2007.

KAZMIERCZAK, C. S.; BREZEZINSKI, D. E.; COLLATTO, D. Influência do tipo e preparo de substrato na resistência de aderência à tração e da distribuição de poros de uma argamassa industrializada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSA, VIII., 2009, Curitiba. Anais... Curitiba: ANTAC, 2009.

KEBHARD, J. M.; KAZMIERCZAK, C. S. Avaliação do comportamento de uma argamassa estabilizada ao longo de seu tempo de estabilização. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12., São Paulo, 2017. Anais... São Paulo, 2017.

LEE, B. J.; KEE, S. H.; TAEKEUN, O.; YUN-YONG, K. Effect of cylinder size on the modulus of elasticity and compressive strength of concrete from static and dynamic tests. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2015, n. 80638, 2015.

LIMA, N.B.; SILVA, D.; VILEMEN, P.; NASCIMENTO, H.C.B.; CRUZ, F.; SANTOS, T.F.A.; OLIVEIRA, R.; POVOAS, Y.; PADRON-HERNANDEZ, E.; LIMA, N.B.D. A chemical approach to the adhesion ability of cement-based mortars with metakaolin applied to solid substrates, **Journal of Building Engineering**, v. 65, n. 105643, 2023.

LOPES, M. L. F.; BAUER, E.; SILVA, L. S. Critérios para a identificação de anomalias em fachadas com revestimento em argamassa. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 24, e132144, jan./dez. 2024.

LÓPEZ RUIZ, L.; ROCA, X.; GASSÓ, S. The circular economy in the construction and demolition waste sector. A review and an integrative model approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 248., p. 119238, 2019.

LOURENÇO, P. B.; VASCONCELOS, G.; MEDEIROS, P.; GOUVEIA, J. Vertically perforated clay brick masonry for loadbearing and non-loadbearing masonry walls. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 11, p. 2317-2330, 2010.

LU, X.; SUN, Q.; FENG, W.; TIAN, J. Evaluation of dynamic modulus of elasticity of concrete using impact-echo method. **Construction and Building Materials**, v. 47, p. 231–239, 2013.

ŁUKASZ, D. Study of impact of bed joint reinforcement on load-carrying capacity and crack resistance of masonry walls made of calcium silicate units. **Journal of Building Engineering**, v. 33, 1 jan. 2021.

LYDON, F. D.; IACOVU, M. Some factors affecting the dynamic modulus of elasticity of high strength concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 25, p. 1246–1256, 1995.

MACEDO, D.; RIBEIRO, P.; MACHADO, G.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Influência do tempo entre a aplicação do chapisco rolado e a execução do revestimento de argamassa na aderência do sistema. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 7., 2007, Recife. Anais... Recife: ANTAC, 2007.

MAHAYUDDIN, A.; ZAHARUDDIN, W. Quantification of waste in conventional construction. **International Journal of Environment Science and Development**, v. 4, p. 296-299, 2013.

MAHESH, J. V.; RAMYA, S.; SREEDHARA, B. M.; RAVEESH, R. M. Bond strength characteristics of masonry using hemp fibre and chicken mesh reinforced mortar. **Materials Today: Proceedings**, 2023.

MAKOOND, N.; CABANÉ, A.; PELÀ, L.; MOLINS, C. Relationship between the static and dynamic elastic modulus of brick masonry constituents. **Construction and Building Materials**, v. 259, n. 120386, 2020.

MARQUES, A. I.; MORAIS, J.; SANTOS, C.; MORAIS, P.; VEIGA, M. DO R. Static elasticity modulus analysis of coating mortars. **Procedia Structural Integrity**, v. 17, p. 1002-1009, 2019.

MARQUES, A. I.; MORAIS, J.; MORAIS, P.; VEIGA, M. DO R; SANTOS, C.; CANDEIAS, P.; FERREIRA, J. G. Modulus of elasticity of mortars: static and dynamic analyses. **Construction and Building Materials**, v. 232, 117216, 2020.

MARTÍNEZ-MOLINA, W.; TORRES-ACOSTA, A. A.; JÁUREGUI, J. C.; CHÁVEZ-GARCIA, H. L.; ALONSO-GUZMÁN, E. M.; GRAFF, M.; ARTEAGA-ARCOS, J. C. Predicting concrete compressive strength and modulus of rupture using different NDT techniques. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2014, n. 742129, 2014.

MARTINS, E. J. **Diretrizes para dosagem de argamassas de revestimento utilizando métodos de empacotamento de partículas e comportamento reológico**. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná, 2021.

MARTINS, A; VASCONCELOS, G.; FANGUEIRO, R.; CUNHA, F. Experimental

assessment of an innovative strengthening material for brick masonry infills. **Composites Part B: Engineering**, v. 80, p. 328–342, 2015.

MATUSINOVIC, T.; KURAJICA, S.; ŠIPUŠIĆ, J. The correlation between compressive strength and ultrasonic parameters of calcium aluminate cement materials, **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 1451–1457, 2004.

MEDEIROS, G. F. DE; MILANI, A. S.; LUBECK, A.; MOHAMAD, G.; RODRIGUEZ, R. Q.; KOSTESKI, L. E. Numerical analysis of masonry walls with horizontal chases using the lattice discrete element method (LDEM). **Engineering Structures journal**, v. 253, p. 113647, 2022.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2008.

MILANI, A. S.; LÜBECK, A.; MOHAMAD, G.; NETO, A. B. S. S.; BUDNY, J.; KOSTESKI, L. E. Case study of prototype and small-scale model behavior of clay blocks masonry under compression. **Case Studies in Construction Materials**, v. 15, dez. 2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (MCTIC). **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil.**, 6ª ed., Brasília, 2022.

MIOTTO, P.; SILVA, C. V. Estudo da aderência de revestimentos argamassados em substratos de concreto com diferentes resistências. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12., 2017, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2017.

MOHAJERANI, A.; BURNETT, L.; SMITH, J.; MARKOVSKI, S.; RODWELL, G.; RAHMAN, M.T.; KURMUS, H.; MIRZABABAEI, M.; ARULRAJAH, A.; HORPIBULSUK, S. MAGHOOL, F. Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 155, p. 104679, 2020.

MONTE, R.; UEMOTO, K. L.; SELMO, S. M. S. Efeitos de aditivos incorporadores de ar nas propriedades de argamassas e revestimentos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003. p. 303.

MONTE, R.; BARROS, M. M. S. B. Proposta de método de ensaio estático para avaliação do módulo de elasticidade de argamassas com prisma na vertical. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 9., 2011, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ANTAC, 2011.

MORENO JR, R.; SELMO, S. M. S. **Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto**. 20p., São Paulo: EPUSP, 2007. Boletim técnico da escola politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2007.

MOTA, J. M. F. **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de alvenaria resistente de blocos cerâmicos.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

MOTA, J. M. F.; CARASEK, H.; SILVA, A. J. C.; BARBOSA, F. R.; FEITOSA, A.; SANTOS, W. Argamassas inorgânicas com adição de metacaulim. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 9., 2011, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ANTAC, 2011.

MOTA, L. M. G. **Estudo da iniciação e da propagação da degradação de fachadas com revestimento em argamassa.** Brasília, 2021. 179 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

MOURA, C. B.; BONIN, L. C.; MASUERO, A. B. Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. Anais... Curitiba: ANTAC, 2009.

MURTHI, P.; BHAVANI, M.; MUSTHAQ, M.; JAUHAR, M.; RAMA DEVI, V. Development of relationship between compressive strength of brick masonry and brick strength. **Materials Today: Proceedings**, v. 39, p. 258–262, 2020a.

MURTHI, P.; AKIB, M.; IMRAN, M.; AHMED, S.; PRASANNA, V. Studies on the strength variation of brick masonry using novel blended masonry mortar mixes and mortar thickness. **Materials Today: Proceedings**, v. 39, p. 126–130, 2020b.

NAGY, A. Determination of e-modulus of young concrete with nondestructive method. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 9, n. 1, p. 15–20, 1997.

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

NAKAKURA, E.; MUNHOZ, F. A. C.; BATTAGIN, A. Evolução da aderência em sistema de revestimento de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 8., 2009, Curitiba. Anais... Curitiba: ANTAC, 2009.

NALON, G. H.; ALVES, M. A.; PEDROTI, L. G.; RIBEIRO, J. C. L.; FERNANDES, W. E. H.; OLIVEIRA, D. S. Compressive strength, dynamic, and static modulus of cement-lime laying mortars obtained from samples of various geometries. **Journal of Building Engineering**, v. 44, p. 102626, dez. 2021.

NALON, G. H.; SANTOS, C. F. R.; PEDROTI, L. G.; RIBEIRO, J. C. L.; VERÍSSIMO, G. S.; FERREIRA, F. A. Strength and failure mechanisms of masonry prisms under compression, flexure and shear: Components' mechanical properties as design constraints. **Journal of Building Engineering**, v. 28, 2020.

NALON, G. H.; RIBEIRO, J. C. L.; PEDROTI, L. G.; SILVA, R. M.; ARAÚJO, E. N. D.; SANTOS, R. F.; LIMA, G. E. S. Review of recent progress on the compressive behavior of masonry prisms. **Construction and Building Materials**, v. 320, n. 126181, 2022.

NENO, C.; BRITO, J. DE; VEIGA, R. Using fine recycled concrete aggregate for mortar production. **Materials Research**, v. 17, n. 1, 2014.

NEVES, C.; ALMEIDA, A. H.; GOMES, A.; RUAS JR., W. A influência do Caulim no comportamento das argamassas de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 1., 1995, Goiânia. Anais... Goiânia: UFG/ANTAC. 1995, p. 219.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2015.

NOGUEIRA, R.; PINTO, A. P. F.; GOMES, A. Design and behavior of traditional lime-based plasters and renders. Review and critical appraisal of strengths and weaknesses. **Cement and Concrete Composites**, v. 89, p. 192–204, 2018.

OLIVEIRA, P. V.; NEVES, R. R.; MARTINS, J. V.; SANTOS, W. J.; CARVALHO JR, A. N. Influência do preparo da parede de concreto moldada in loco na aderência do revestimento cerâmico interno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 14., 2023, João Pessoa. Anais... ANTAC, 2023, p. 220–227.

OLIVEIRA, R. A.; SILVA, F. A. N.; SOBRINHO, C. W. A. P.; AZEVEDO, A. C.; DELGADO, J. M. P. Q.; GUIMARÃES, A. S. Structural performance of unreinforced masonry elements made with concrete and horizontally perforated ceramic blocks – Laboratory tests. **Construction and Building Materials**, v. 182, p. 20 – 34, 10 set. 2018.

OLIVEIRA, V. C. **Análise quantitativa da influência da rugosidade e da área de interface entre substratos cerâmicos e revestimento cimentício na resistência de aderência à tração**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo, 2022.

ORCHARD, D.; WALKER, J.; STEWART, D. A study of the relationship between the static and dynamic modulus of elasticity and other properties of certain materials. In: AUSTRALIAN ROAD RESEARCH BOARD CONFERENCE, 1966, Sydney. Proceedings [...]. Sydney: [s.n.], 1966. p. 1068-1091.

ORTEGA, N. F.; GONZÁLEZ LIMÓN, T. A study of the volume variations in reinforced masonry structures exposed to different degrees of humidity. **Building and Environment**, v. 41, n. 6, p. 763–769, jun. 2006.

OTTONI, T. P.; MARQUEZAN, J. P.; MOHAMAD, G.; LUBECK, A.; RIZATTI, E. Estudo do potencial de aderência à tração em diferentes blocos de alvenaria com e sem uso do chapisco. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

OTTONI, T. P.; MARQUEZAN, J. P.; MOHAMAD, G.; LUBECK, A.; RIZZATTI, E. Influência do tratamento de base na resistência de aderência à tração e na permeabilidade de revestimentos em argamassa: estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 14., 2023, João Pessoa. Anais... ANTAC, 2023, p. 235–242.

PADALU, P. K. V. R.; SINGH, Y. Variation in compressive properties of Indian brick masonry and its assessment using empirical models. **Structures**, v. 33, p. 1734 – 1753, 2021.

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

PAES, I. L.; ANDRADE, M.A.S.; ANGELIM, R.R.; HASPARYK, N.P.; OLIVEIRA, R.A.; PASSOS, J.S.; THON, D.G.; CARASEK, H. O Efeito de finos Calcários nas propriedades de Argamassas de Revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. Anais... Vitória: ANTAC. 1999. p. 335.

PAES, I. L.; SILVA, C.; CAMPOS, B.; EVANGELISTA, G.; RIBEIRO, L.; RIBEIRO, E. Revestimento de fachada: influência do preparo de base. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12., 2017, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2017.

PAES, I. N. L.; SIQUEIRA, D. C.; JR., A. J. S.; SÁ, R. A., MELO; D. W. M. D. Avaliação de métodos de preparo de base de concreto para aplicação de revestimento em argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 14., 2023, João Pessoa. Anais... ANTAC, 2023, p. 463–470.

PAGANI, R., KOVALESKI, J. L., RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, p. 2109-2135, 2015.

PARSEKIAN, G.; HAMID, A.; DRYSDALE, G. **Comportamento e dimensionamento de alvenaria estrutural**. EdUFSCar, São Carlos, 2012.

PEISINO, L. E.; BARBERO-BARRERA, M. D. M.; GARCÍA-CASTRO, C. B.; KREIKER, J.; GAGGINO, R. Assessment of the mechanical and physical characteristics of PET bricks with different aggregates. **Journal of Environmental Management**, v. 357, n. 120720, 2024.

PEREIRA, P. C.; IKEDA, J. D. A.; IKEDA N. D. A.; CAMPOS, C. D. O.; TEIXEIRA, L. M.; CARASEK, H. Teor de cimento ou a/c: quem exerce maior influência na resistência da aderência. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. Anais... Vitória: ANTAC. 1999.

POPOVICS, S.; POPOVICS, J. S. Critique of the ultrasonic pulse velocity method for testing concrete. In: NONDESTRUCTIVE TESTING OF CONCRETE ELEMENTS AND STRUCTURES, p. 94-103, 1992.

PRUDÊNCIO JR., L. R.; ISERNHAGEM, W. O.; STEIL, R. D. O.; MACARINI, M. R. Resistência de aderência de diferentes tipos de revestimento de argamassa aplicados em alvenaria de blocos de concreto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. Anais... Vitória: ANTAC. 1999.

RAJ, A.; BORSAIKIA, A. C.; DIXIT, U. S. Bond strength of autoclaved aerated concrete (AAC) masonry using various joint materials. **Journal of Building Engineering**, vol. 28, n. 101039, 2020.

RAMOS, A. L. F.; FREITAS, I. S. G.; SILVEIRA, P. B.; LOPES, A. C. C.; ANDRADE, M. V. O.; PAES, I. L. Desempenho de aditivos impermeabilizante e hidrofugante empregados no sistema de revestimento em argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12, 2017, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2017.

RAMOS, N. M. M.; SIMÕES, M. L.; DELGADO, J. M. P. Q.; DE FREITAS, V. P. Reliability of the pull-off test in situ evaluation of adhesion strength. **Construction and Building Materials**, v. 31, p. 86–93, 2012.

RAMOS, M. C.; BARBOSA, J. A. Basic unit cost simulation from free-stall design to dairy cattle confinement using different construction techniques, **Eng. Agrícola**, v. 36, n. 6, p. 972–983, 2016.

RIZZATTI, E.; ROMAN, H. R.; MOHAMAD, G.; NAKANISHI, E. Y. Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 16, n. 2, p. 730–746, 2011.

RODRIGUES, M. P. **Renders for ancient walls – binder' influence**. 2004. Tese (Doutorado) - University Nova de Lisboa; Lisboa, 2004.

ROSELL, J. R.; CANTALAPIEDRA, I. R. Simple method of dynamic Young's modulus determination in lime and cement mortars. **Materiales de Construcción**, vol. 61, n. 301, p. 39– 48, 2011.

RUFFEIL, L. C.; SILVA, A. A.; GRISOLIA, B. B.; FONSECA, K. R.; RODRIGUES, P. M.; BORDALO, C. V. S.; PAES, I. N. Análise das características mecânicas e de desempenho de argamassa projetada: estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12., 2017, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2017.

SANTAMARÍA-VICARIO, I.; RODRÍGUEZ, A.; GONZÁLEZ, S. G.; CALDERÓN, V. Design of masonry mortars fabricated concurrently with different steel slag aggregates. **Construction and Building Materials**, v. 95, p. 197-206, 2015.

SANTOS, A. M. D.; COSTA E SILVA, A. J. D.; MOTA, J. M. D. F. Influência da cal na aderência de argamassa para revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE

TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 14., 2023, João Pessoa. Anais... ANTAC, 2023, p. 433–439.

SANTOS, T.; FARIA, P.; SILVA, V. Can an earth plaster be efficient when applied on different masonries? **Journal of Building Engineering**, v. 23, p. 314-323, 2019.

SANTOS, C. F. R.; ALVARENGA, R. C. S. S.; RIBEIRO, J. C. L.; CASTRO, L. O.; SILVA, R. M.; SANTOS, A. A. R.; NALON, G. H. Numerical and experimental evaluation of masonry prisms by finite element method. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 10, n. 2, p. 477–508, abr. 2017.

SANTOS, E. A. F. **Estudo da influência das propriedades elásticas da interface blocoargamassa na rigidez de paredes de alvenaria**. 277 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SARHAT, S. R.; SHERWOOD, E. G. The prediction of compressive strength of ungrouted hollow concrete block masonry, **Construction and Building Materials**, v. 58, p. 111–121, 2014.

SATHIPARAN, N.; RUMESHKUMAR, U. Effect of moisture condition on mechanical behavior of low strength brick masonry. **Journal of Building Engineering**, v. 17, p. 23–31, 2018.

SCARTEZINI, L. M.; CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003, p. 569.

SCARTEZINI, L. M.; JUCÁ, T. R.; LINHARES, H.; TEIXEIRA, F.; ANTONELLI, G.; CASCUDO, O.; CARASEK, H. Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa. **Ambiente Construído**, v. 2, n.2, p. 85-92, 2002.

SCHACKOW, A.; FERRARI, A. K.; EFFTING, C.; ALVES, V. O.; GOMES, I. R. Stabilized mortar with air incorporator agent and plasticizer set retarder: performance measurement. **IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 12, n. 6, dez. 2019.

SCRIVENER, K.L.; JOHN, V. M.; GARTNER, E. M. Eco-efficient cements: potential economically viable solutions for a low-CO2 cement-based materials industry, **Cement and Concrete Research**, Volume 114, p. 2-26, 2018.

SEIF ELDIN, H. M.; ALY, N.; GALAL, K. In-plane shear strength equation for fully grouted reinforced masonry shear walls. **Engineering Structures**, v. 190, p. 319–332, 1 jul. 2019.

SENTENA, J. A. A.; KAZMIERCZAK, C. S.; KREIN, L. A. Degradação de revestimentos de argamassa com finos de resíduos de concreto por ciclos térmicos. **Ambiente Construído**, vol.18, 2018.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). Indicadores de consumo anual de cimento, 2024.

SILVA, A. C. M.; SANTOS, C.; ROSAL, P.; CORREA, R.; SILVA, A. J. C. Análise em obra da resistência de aderência de revestimentos de argamassa preparadas com água e solução de cal sobre chapisco umedecido com água e solução de cal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 12., 2017, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2017.

SILVA, A.; GASPAR, P.; BRITO, J. Durability of current renderings: A probabilistic analysis. **Automation in Construction**, v. 44. p. 92–102, 2014.

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

SILVA, D. A.; TRISTÃO, F. A.; ROMAN, H. R.; SOUZA, F. K. Argamassa intermediárias de cal e areia para revestimentos: efeitos das características das areias. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003. p. 317.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C. Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 4, p. 21–35, 2008.

SILVA, N. G.; CAMPITELI, V. C.; GLEIZE, P. J. P. A Influência dos finos de areia de britagem de rocha calcária nas propriedades da argamassa de revestimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 7., 2007, Recife. Anais... Recife: ANTAC, 2007.

SILVA, N. G.; SILVA, G. G.; GLEIZE, P. J. P. Argamassa de revestimento utilizando areia residual proveniente da produção de minérios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 10., 2013, Fortaleza. Anais..., Fortaleza: ANTAC, 2013.

SILVA, R. F.; CAMACHO, J. S.; RODRIGUES, R. O. Theoretical model for predicting the compressive strength of reinforced masonry Modelo teórico para a previsão da resistência à compressão da alvenaria armada. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 4, n. 5, 2011.

SILVEIRA, D.; GONÇALVES, A.; FLORES-COLEN, I.; VEIGA, M. R.; TORRES, I.; TRAVINCAS, R. Evaluation of in-service performance factors of renders based on in-situ testing techniques. **Journal of Building Engineering**, v. 34, n. 101806, 2021.

SILVEIRA, D.; GONÇALVES, A.; FLORES-COLEN, I.; VEIGA, M. R.; TORRES, I.; TRAVINCAS, R. Evaluation of in-service performance factors of renders based on in-situ testing techniques, **Journal of Building Engineering**, v. 34, p. 101806, 2021.

SINGH, S. B.; MUNJAL, P. Bond strength and compressive stress-strain characteristics of brick masonry. **Journal of Building Engineering**, v. 9, p. 10-16, 2017.

SMARZEWSKI, P.; BARNAT-HUNEK, D. Property assessment of hybrid fiber-reinforced ultra-high-performance concrete, **International Journal of Civil Engineering**, v. 16, p. 593-606, 2018.

SOCOLOSKI, R. F.; MASUERO, A. B. Evaluation of the efficiency of the treatment for rising damp on walls through the insertion of chemical barriers by gravity. **Construction and Building Materials**, v. 210, p. 660–672, 2019.

SOLEYMANI, A.; NAJAFGHOLIPOUR, M. A.; JOHARI, A. An experimental study on the mechanical properties of solid clay brick masonry with traditional mortars. **Journal of Building Engineering**, v. 58, n. July, p. 105057, 2022.

SOLÓRZANO, M. G. P. **Características e desempenho de juntas de argamassa na alvenaria estrutural de blocos de concreto**. 203p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SOTO, I. I.; RAMALHO, M. A.; IZQUIERDO, O. S. Post-cracking behavior of blocks , prisms , and small concrete walls reinforced with plant fiber. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 6, n. 4, p. 598–612, 2013.

SOUZA, D. de A.; BARBOZA, A. da S. R.; LIMA JR., E. T. de. Reliability analysis applied to structural ceramic blocks. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 401-412, abr./jun. 2018.

SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. Brasília, 2019. 139 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

STARINIERI, V.; HUGHES, D. C.; WILK, D. Influence of substrate and sand characteristics on Roman cement mortar performance, **Construction and Buildings Materials**, v. 91, p. 274–287, 2015.

STOLZ, C. M. **Influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

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

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

SWAMY, N.; RIGBY, G. Dynamic properties of hardened paste, mortar and concrete, **Matériaux et Constructions**, vol. 4, n. 19, p. 13–40, 1971.

TAMANNA, K.; RAMANA, S.N.; JAMIL M.; HAMID R. Utilization of wood waste ash in construction technology: A review. **Construction and Building Materials**, v. 237, n. 117654, 2020.

TAUBE, C. R.; GAVA, G. P.; PETRAUSKI, S. M. F. C. Avaliação das propriedades de uma argamassa de revestimento industrializada em comparação a uma argamassa produzida em obra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2003, p. 221.

TAYLOR-FIRTH, A.; TAYLOR, I. F. A bond tensile strength test for use in assessing the compatibility of brick/mortar interfaces, **Construction and Building Materials**, v. 4, n. 2, p. 58– 63, 1990.

TEMP, A. L.; MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E.; BAVASTRI, E.Y.N. Avaliação de revestimentos de argamassas à permeabilidade e a aderência à tração. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS 10., 2013, Fortaleza. Anais..., Fortaleza: ANTAC, 2013.

THAICKAVIL, N. N.; THOMAS, J. Behavior and strength assessment of masonry prisms. **Case Studies in Construction Materials**, v. 8, p. 23–38, 2018.

THAMBOO, J. A.; DHANASEKAR, M. Correlation between the performance of solid masonry prisms and wallets under compression. **Journal of Building Engineering**, v. 22, n. December 2018, p. 429–438, 2019.

THAULOW, N.; SAHU, S.; BADGER, S.; LEE, R.J. Determination of water/cement ratio of hardened concrete by scanning electron microscopy, **Cement and Concrete Composites**, vol. 26, p. 987-992, 2004.

THOMAZ, E. Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini, 1989.

TIGGEMANN, T. G.; LONGHI, M. A. Argamassas industrializadas para revestimento utilizadas na cidade de lajeado/RS: comportamento em diferentes substratos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, XII, 2017, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2017.

TONGYUAN, N.; YANG, Y.; DANDAN, W.; CHENHUI, J. Influences of environmental conditions on the cracking tendency of dry-mixed plastering mortar, **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2018, n. 9160801, 2018.

TORRES, B.; IVORRA, S.; BAEZA, F. J.; ESTEVAN, L.; VARONA, B. Textile reinforced mortars (TRM) for repairing and retrofitting masonry walls subjected to in-plane cyclic loads. An experimental approach. **Engineering Structures**, v. 231, 15 mar. 2021.

TORRES, I.; VEIGA, M. R.; FREITAS, V. P. Influence of substrate characteristics on behavior of applied mortar. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v.30, n.10, p. 04018254., 2018.

TREVISOL JR, L. A.; PORTELLA, K. F.; BRAGANÇA, M. O. G. P. Estudo comparativo entre as argamassas: estabilizada dosada em central, industrializada e produzida em obra por meio de ensaios físicos nos estados fresco e endurecido. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 11., 2015, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, UFRGS, ANTAC, 2015.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Mineral commodity summaries 2024. National Minerals Information Center, Reston, 2024.

VALENTINI, L.; PARISATTO, M.; RUSSO, V.; FERRARI, G.; BULLARD, J. W.; ANGEL, R. J.; DALCONI, M. C.; ARTIOLI, G. Simulation of the hydration kinetics and elastic moduli of cement mortars by microstructural modelling. **Cement and Concrete Composites**, v. 52, p. 54-63, 2014.

VALENTINI, P.; LUNARDI, M. P.; MENEGOTTO, C. W.; KAZMIERCZAK, C. S.; KULAKOWSKI, M. P. Methodology for evaluation of the influence of roughness and capillary absorption of ceramic blocks on the render' s tensile bond strength. **Cerâmica**, v. 68, p. 171-180, 2022.

VÁLEK, J.; SKRUZNÁ, O. Performance assessment of custom-made replications of an original historic render – a study of application influences, **Construction and Building Materials**, v. 229, n. 116822, 2019.

VAN DEVENTER, J. S. J.; PROVIS, J. L.; DUXSON, P. Technical and commercial progress in the adoption of geopolymers. **Minerals Engineering**, v. 29, p. 89-104, 2012.

VAZ, F. H. B.; CARASEK, H. Resistência de aderência de revestimentos de argamassa - contribuição por meio de mapeamento e revisão sistemática de literatura para futuras pesquisas no tema. **Cerâmica**, v. 65, n. 374, p. 303–318, 2019.

VEIGA, M. R. **Renders' cracking behavior**. 1997. Tese (Doutorado) - LNEC and FEUP, University of Porto; Porto, 1997.

VOIGT, T.; SUN, Z.; SHAH, S. P. Comparison of ultrasonic wave reflection method and maturity method in evaluating early-age compressive strength of mortar, **Cement and Concrete Composites**, v. 28, p. 307–316, 2006.

WEISS, H. Adhesion of advanced overlay coatings: mechanisms and quantitative assessment. **Surface and Coatings Technology**, v. 71, p. 201–207, 1995.

WITZANY, J.; ZIGLER, R.; KROFTOVÁ, K. Strengthening of compressed brick masonry walls with carbon composites. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 1066-1079, 2016.

ZANELATO, E. B.; ALEXANDRE, J.; AZEVEDO, A. R. G.; MARVILA, M. T. Evaluation of roughcast on the adhesion mechanisms of mortars on ceramic substrates. **Materials and Structures**, v. 52, n. 53, 2019.

ZANELATTO, K.; BARROS, M. M. S. B.; MONTE, R.; SABBATINI, S. H. Avaliação da influência da técnica de execução no comportamento de revestimento de argamassa aplicado com projeção mecânica contínua, **Ambiente Construído**, v. 13, n. 2, p. 87–109, 2013.

APÊNDICE A – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS BLOCOS CERÂMICOS

TABELA A1 – Resultados individuais das dimensões efetivas dos blocos cerâmicos

Corpo de prova	Largura (mm)				Altura (mm)				Comprimento (mm)			
	P1	P2	Média	Variação*	P1	P2	Média	Variação*	P1	P2	Média	Variação*
1	137,3	137,9	137,6	-2,4	188,3	189,0	188,7	-1,3	287,2	287,4	287,3	-2,7
2	137,0	137,4	137,2	-2,8	189,6	187,6	188,6	-1,4	288,8	288,2	288,5	-1,5
3	137,2	137,8	137,5	-2,5	189,6	187,2	188,4	-1,6	290,3	289,7	290,0	0,0
4	137,9	137,3	137,6	-2,4	187,2	187,9	187,6	-2,4	287,6	287,3	287,5	-2,5
5	137,4	138,3	137,9	-2,1	189,2	189,5	189,4	-0,7	287,2	287,1	287,2	-2,9
6	137,5	137,3	137,4	-2,6	187,4	189,0	188,2	-1,8	287,1	288,1	287,6	-2,4
7	137,7	137,3	137,5	-2,5	188,6	187,6	188,1	-1,9	287,6	288,1	287,9	-2,1
8	137,2	137,3	137,3	-2,8	189,2	187,0	188,1	-1,9	287,5	288,5	288,0	-2,0
9	137,5	137,9	137,7	-2,3	188,3	188,1	188,2	-1,8	287,9	288,6	288,3	-1,8
10	137,0	137,9	137,5	-2,6	190,4	188,9	189,6	-0,4	288,3	289,0	288,7	-1,4
11	137,5	137,0	137,3	-2,8	191,6	187,3	189,5	-0,6	287,0	287,7	287,4	-2,6
12	137,1	137,4	137,3	-2,8	189,0	187,2	188,1	-1,9	287,0	287,0	287,0	-3,0
13	137,9	138,3	138,1	-1,9	189,6	187,8	188,7	-1,3	287,3	287,4	287,4	-2,6
Média (mm)			137,5		188,5				287,9			
CP (mm)			0,3		0,6				0,8			
CV (%)			0,2		0,3				0,3			
Dimensão nominal (mm)			140,0		190,0				290,0			

Nota: P1 e P2, pontos de medição 1 e 2; variação*: diferença da média em relação à dimensão nominal.

TABELA A2 – Resultados individuais da espessura das paredes externas e septos, planeza das faces e desvio em relação ao esquadro dos blocos cerâmicos

Corpo de prova	Espessura da parede externa (mm)					Espessura do septo (mm)					F (mm)		D (mm)	
	P _{esq}	P _{dir}	P _{sup}	P _{inf}	Média	S1	S2	S3	S4	Média				
1	9,6	7,9	8,3	8,9	8,7	7,7	8,8	7,9	8,0	8,1	0,0	-0,7	1,7	0,2
2	8,9	8,0	8,4	8,7	8,5	8,8	8,8	7,7	8,7	8,5	-0,3	-0,4	3,0	0,1
3	9,5	8,3	8,7	7,0	8,4	8,3	8,3	7,8	8,0	8,1	-0,4	0,4	0,4	0,5
4	9,4	7,7	8,6	8,8	8,6	8,4	9,0	8,8	8,4	8,7	-0,3	0,5	2,2	0,7
5	8,7	8,0	8,4	8,9	8,5	8,2	8,7	7,9	8,3	8,3	-0,4	-0,2	2,3	0,8
6	8,9	7,8	7,6	8,2	8,1	8,3	9,2	7,6	8,3	8,4	-0,2	-0,5	2,0	1,6
7	8,9	8,1	8,9	8,0	8,5	8,1	8,8	8,6	7,9	8,4	-0,5	-0,2	2,9	0,5
8	9,2	8,1	8,2	7,8	8,3	8,0	8,8	8,6	8,1	8,4	-0,8	-1,0	2,4	0,4
9	9,2	8,0	8,6	8,7	8,6	8,1	8,8	8,6	8,4	8,5	-0,7	-0,2	1,2	0,5
10	9,7	8,3	8,1	8,2	8,6	7,6	9,0	8,3	8,3	8,3	-0,8	-0,5	1,8	0,2
11	9,7	8,1	9,0	8,2	8,8	7,9	9,3	8,1	7,4	8,2	-0,4	-0,5	1,4	0,7
12	8,6	8,5	8,3	8,6	8,5	7,5	9,0	8,2	6,7	7,9	-0,4	-0,3	0,9	1,1
13	9,2	7,7	8,3	8,4	8,4	7,6	9,0	8,7	7,5	8,2	-0,5	-1,0	0,5	0,5
Média (mm)					8,5	8,3								
DP (mm)					0,2	0,2								
CV (%)					1,9	2,5								

Nota: P_{esq} - Parede esquerda; P_{dir} - parede direita; P_{sup} - parede superior; P_{inf} - parede inferior; S1, S2, S3, S4 - septos de 1 à 4; F - planeza da face; D - desvio em relação ao esquadro.

TABELA A3 – Resultados individuais da área bruta dos blocos cerâmicos

Corpo de prova	Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Área bruta (mm ²)
1	137,6	188,7	287,3	39532
2	137,2	188,6	288,5	39582
3	137,5	188,4	290,0	39875
4	137,6	187,6	287,5	39553
5	137,9	189,4	287,2	39584
6	137,4	188,2	287,6	39516
7	137,5	188,1	287,9	39579
8	137,3	188,1	288,0	39528
9	137,7	188,2	288,3	39692
10	137,5	189,6	288,7	39675
11	137,3	189,5	287,4	39439
12	137,3	188,1	287,0	39391
13	138,1	188,7	287,4	39683
Média (mm)				39587
DP (mm)				123,9
CV (%)				0,3
Dimensão nominal (mm)				40600

TABELA A4 – Resultados individuais de resistência à compressão, resistência média e característica dos blocos cerâmicos

Corpo de prova	Dimensões efetivas (mm)			Resistência à compressão (MPa)		
	Largura	Altura	Comprimento	Individual	f _{bm}	f _{bk}
1	137,6	188,7	287,3	6,0	7,4	6,0
2	137,2	188,6	288,5	6,4		
3	137,5	188,4	290,0	6,6		
4	137,6	187,6	287,5	6,6		
5	137,9	189,4	287,2	6,9		
6	137,4	188,2	287,6	7,2		
7	137,5	188,1	287,9	7,5		
8	137,3	188,1	288,0	7,6		
9	137,7	188,2	288,3	7,6		
10	137,5	189,6	288,7	8,5		
11	137,3	189,5	287,4	8,5		
12	137,3	188,1	287,0	8,7		
13	138,1	188,7	287,4	8,7		
DP (MPa)				0,93		
CV (%)				12,50		

TABELA A5 – Resultados individuais do índice de absorção de água dos blocos cerâmicos

Corpo de prova	Massa seca (g)	AA (%)	Média (%)	DP (%)	CV (%)
1	4974	21	21	0,27	1,28
2	4950	21			
3	4970	21			
4	4946	21			
5	4946	21			
6	4960	21			

TABELA A6 – Resultados individuais de absorção de água inicial dos blocos cerâmicos

Corpo de prova	Massa (g)		Área líquida (cm ²)	Individual (g/194.cm ²)/min	Média (g/194.cm ²)/min	DP (g/194.cm ²)/min	CV (%)
	Inicial	Final					
1	4939,9	4960,9	395,79	10,29	9,97	0,69	6,87
2	4942,8	4960,8	395,28	8,83			
3	4938,7	4958,7	396,92	9,78			
4	4942,0	4962,0	396,75	9,78			
5	4954,3	4975,3	394,39	10,33			
6	4912,5	4934,5	393,91	10,84			

TABELA A7 – Resultados individuais de absorção de água inicial dos blocos cerâmicos com aplicação de chapisco

Corpo de prova	Massa (g)		Área líquida (cm ²)	Individual (g/194.cm ²)/min	Média (g/194.cm ²)/min	DP (g/194.cm ²)/min	CV (%)
	Inicial	Final					
1	5450,0	5485,0	395,32	17,18	19,67	1,77	9,00
2	5452,7	5492,7	395,82	19,60			
3	5485,7	5530,7	398,75	21,89			
4	5418,0	5455,0	395,53	18,15			
5	5456,3	5499,3	395,84	21,07			
6	5498,5	5539,5	395,16	20,13			

APÊNDICE B – RESULTADOS INDIVIDUAIS DAS ARGAMASSAS

TABELA B1 – Resultados individuais de módulo de elasticidade dinâmico das argamassas

Arg.	Corpo de prova	Veloc. (m/s)	Massa esp. (g/cm³)	Individual (GPa)	Média (GPa)	DP (GPa)	CV (%)
AA	1	2136	1,66	6,80	7,18	0,38	5,30
	2	2201	1,65	7,21			
	3	2185	1,65	7,08			
	4	2301	1,66	7,90			
	5	2189	1,65	7,13			
	6	2152	1,67	6,95			
AM	1	1702	1,78	4,63	5,42	0,53	9,82
	2	1811	1,79	5,29			
	3	1825	1,80	5,39			
	4	1782	1,81	5,16			
	5	1947	1,78	6,08			
	6	1920	1,79	5,94			
AI	1	2614	1,74	10,68	10,61	0,85	8,05
	2	2597	1,73	10,52			
	3	2478	1,74	9,60			
	4	2789	1,74	12,16			
	5	2547	1,74	10,16			
	6	2602	1,73	10,54			
AU	1	2412	1,66	8,71	9,10	0,58	6,40
	2	2514	1,65	9,38			
	3	2587	1,66	10,00			
	4	2401	1,66	8,59			
	5	2498	1,67	9,38			
	6	2387	1,66	8,53			

TABELA B2 – Resultados individuais de resistência à tração na flexão das argamassas

Arg.	Corpo de prova	Carga (N)	Individual (MPa)	Média (MPa)	Desvio abs. máx. (MPa)	Média corrigida (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
AA	1	922,94	2,16	2,15	0,01	inalterada	0,18	8,27
	2	853,87	2,00		0,15			
	3	813,24	1,91		0,24			
	4	937,15	2,20		0,05			
	5	950,70	2,23		0,08			
	6	1028,57	2,41		0,26			
AM	1	499,05	1,17	1,04	0,13	inalterada	0,09	8,21
	2	441,49	1,03		0,00			
	3	400,86	0,94		0,10			
	4	450,29	1,06		0,02			
	5	406,28	0,95		0,09			
	6	460,14	1,08		0,04			
AI	1	1302,13	3,05	2,77	0,28	inalterada	0,16	5,94
	2	1098,31	2,57		0,20			

	3	1219,52	2,86		0,08			
	4	1171,44	2,75		0,03			
	5	1141,65	2,68		0,10			
	6	1169,41	2,74		0,03			
AU	1	1105,76	2,59		0,11			
	2	1037,37	2,43		0,05			
	3	1198,53	2,81*		0,33*			
	4	954,51	2,24	2,48	0,25	2,42	0,16	6,46
	5	974,64	2,28		0,20			
	6	1086,83	2,55		0,06			

Nota: * valor discrepante (desvio absoluto máximo superior a 0,3 MPa) – desconsiderado no cálculo da média corrigida.

TABELA B3 – Resultados individuais de resistência à compressão das argamassas

Arg.	Corpo de prova	Carga (N)	Individual (MPa)	Média (MPa)	Desvio abs. máx. (MPa)	Média corrigida (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
AA	1	8451,10	5,28		0,01			
	2	8079,90	5,05		0,24			
	3	7857,30	4,91		0,38			
	4	8154,20	5,10		0,20			
	5	8726,80	5,45		0,16			
	6	8016,30	5,01	5,29	0,28	5,17	0,29	5,60
	7	9119,10	5,70		0,41			
	8	7766,10	4,85		0,44			
	9	9511,40	5,94*		0,65*			
	10	9500,80	5,94*		0,64*			
	11	9755,3	6,10*		2,81*			
	12	6712,1	4,20*		0,90*			
AM	1	5535,10	3,46		0,17			
	2	5619,90	3,51		0,22			
	3	5407,80	3,38		0,09			
	4	5672,90	3,55		0,25			
	5	4941,30	3,09		0,20			
	6	5482,10	3,43	3,29	0,13	3,34	0,18	5,32
	7	4389,90	2,74*		0,55*			
	8	4877,70	3,05		0,24			
	9	5057,90	3,16		0,13			
	10	5185,20	3,24		0,05			
	11	5617,8	3,51		0,22			
	12	5411,7	3,38		0,09			
AI	1	11261,00	7,04		0,33			
	2	11876,00	7,42		0,06			
	3	11483,70	7,18		0,19			
	4	11600,30	7,25		0,12			
	5	11713,00	7,32		0,04			
	6	12830,40	8,02*	7,37	0,65*	7,19	0,15	2,06
	7	12703,10	7,94*		0,57*			
	8	11271,60	7,04		0,32			
	9	11324,60	7,08		0,29			
	10	13053,00	8,16*		0,79*			

	11	13318,1	8,32*	0,96*				
	12	8981,3	5,61*	1,75*				
AU	1	10345,90	6,47	0,35				
	2	12247,20	7,65*	1,53*				
	3	10233,30	6,40	0,28				
	4	9744,70	6,09	0,03				
	5	11971,50	7,48*	1,36*				
	6	9681,10	6,05	0,07	6,12	6,17	0,30	4,82
	7	10158,30	6,35	0,23				
	8	8398,10	5,25*	0,87*				
	9	8673,70	5,42*	0,70*				
	10	9070,60	5,67	0,45				
	11	8836,10	5,52*	0,60*				
	12	8136,20	5,09*	1,03*				

Nota: * valor discrepante (desvio absoluto máximo superior a 0,5 MPa) – desconsiderado no cálculo da média corrigida.

TABELA B4 – Resultados individuais de índice de consistência das argamassas

Arg.	Corpo de prova	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Média das 3 medidas (mm)	Média final (mm)	DP (mm)	CV (%)
AA	1	267	269	271	269			
	2	268	269	271	269	269	0,19	0,07
	3	269	269	270	269			
AM	1	257	253	252	254			
	2	255	255	253	254	254	0,88	0,35
	3	251	255	252	253			
AI	1	263	260	264	262			
	2	261	262	262	262	262	0,33	0,13
	3	260	263	263	262			
AU	1	268	269	269	269			
	2	269	269	267	268	269	0,19	0,07
	3	266	269	271	269			

TABELA B5 – Resultados individuais de densidade de massa e teor de ar incorporado das argamassas

Arg.	Corpo de prova	M molde (g)	M molde + arg (g)	V molde (cm³)	Dens. de massa (kg/m³)	Dens. de massa teórico (kg/m³)	Teor de ar incorporado (%)
AA	1	767,00	1135,00	196,35	1874		-
	2	762,00	1127,00	196,35	1859	-	-
	3	768,00	1137,00	196,35	1879		-
	4	771,00	1134,00	196,35	1849		-
AM	1	786,00	1186,00	196,35	2037		3
	2	790,00	1188,00	196,35	2027	2111	4
	3	774,00	1175,00	196,35	2042		3
	4	775,00	1176,00	196,35	2042		3
AI	1	769,00	1147,00	196,35	1925		16
	2	811,00	1190,00	196,35	1930	2296	16
	3	808,00	1188,00	196,35	1935		16
	4	770,00	1152,00	196,35	1946		15
AU	1	769,00	1135,00	196,35	1864		-
	2	769,00	1133,00	196,35	1854	-	-

3	774,00	1139,00	196,35	1859	-
4	768,00	1132,00	196,35	1854	-

Nota: (-) valor médio fornecido pelo fabricante.

TABELA B6 – Pontos de mudança de estágio das argamassas em base metálica

Vel. (mm/s)	Arg.	Estágio I/II				Estágio II/III				Δ_D (mm)	Δ_F (N)	Df (mm)
		DE _{máx} (mm)	FE _{máx} (N)	Equação linear	R ²	DP _{máx} (mm)	FP _{máx} (N)	Equação exponencial	R ²			
0,1	AM	0,51	6,28	$y = 11,639x + 0,7251$	0,9014	1,00	20,80	$y = 7,1361e^{1,3329x}$	0,9436	0,49	14,52	4,30
	AI	0,48	1,02	$y = 7,228x - 1,4718$	0,8464	1,20	10,27	$y = 3,5966e^{1,1905x}$	0,9964	0,72	9,25	4,68
	AU	0,50	6,60	$y = 48,494x - 8,908$	0,9659	3,02	145,58	$y = 5,237e^{1,051x}$	0,9663	2,52	138,98	4,84
3	AM	0,71	0,15	$y = 36,092x - 16,346$	0,8880	3,50	155,98	$y = 0,1426e^{1,9587x}$	0,9814	2,79	155,83	4,48
	AI	0,77	8,46	$y = 39,016x - 15,601$	0,9858	6,52	239,17	$y = 0,0062e^{1,588x}$	0,8644	5,75	230,71	7,92
	AU	0,22	9,75	$y = 20,944x + 19,134$	0,9265	6,04	155,98	$y = 0,0317e^{1,3084x}$	0,7732	5,82	146,23	8,02

TABELA B7 – Pontos de mudança de estágio das argamassas sobre bloco cerâmico e chapisco

Subs- trato	Arg.	Estágio I/II				Estágio II/III				Δ _D (mm)	Δ _F (N)	Df (mm)
		DE _{máx} (mm)	FE _{máx} (N)	Equação linear	R ²	DP _{máx} (mm)	FP _{máx} (N)	Equação exponencial	R ²			
Velocidade 0,1 mm/s												
Bloco cerâmico	AM	0,20	10,40	y = 82,961x - 3,5497	0,8823	0,51	41,59	y = 13,459e ^{2,1748x}	0,9995	0,31	31,20	1,98
	AI	0,30	3,95	y = 8,2825x + 0,9263	0,9351	1,00	10,40	y = 1,7501e ^{2,2823x}	0,9796	0,70	6,45	2,69
	AU	0,20	4,33	y = 26,07x - 1,2378	0,8718	1,07	31,20	y = 6,0295e ^{1,7714x}	0,9970	0,87	26,87	2,96
Chapisco	AM	0,22	4,13	y = 18,187x - 0,5079	0,8916	0,61	20,48	y = 2,7032e ^{4,0851x}	0,9728	0,01	1,44	1,09
	AI	0,38	6,49	y = 12,958x + 0,8128	0,9339	0,93	10,39	y = 0,7754e ^{3,7962x}	0,9698	0,55	3,90	1,97
	AU	0,30	6,36	y = 20,285x + 0,0995	0,8502	1,00	31,18	y = 3,8737e ^{2,105x}	0,9990	0,70	24,82	2,93
Velocidade 3 mm/s												
Bloco cerâmico	AM	0,49	0,15	y = 60,016x + 0,902	0,9061	0,52	31,20	y = 12,241e ^{2,3402x}	0,9428	0,03	31,05	1,87
	AI	0,15	19,45	y = 148,32x - 3,9825	0,9598	1,03	176,78	y = 36,701e ^{1,6102x}	0,9732	0,88	157,33	2,94
	AU	0,53	4,36	y = 9,9551x + 1,0735	0,9625	1,98	10,42	y = 4,9963e ^{1,7559x}	0,9793	1,45	6,06	4,02
Chapisco	AM	0,22	4,13	y = 18,187x-0,5079	0,8916	0,61	20,48	y = 2,7032e ^{4,0851x}	0,9728	0,39	16,35	1,53
	AI	0,21	9,18	y = 24,585x + 2,0807	0,7883	0,71	20,80	y = 8,0192e ^{1,8967x}	0,9985	0,50	11,62	2,69
	AU	0,37	5,17	y = 11,107x - 1,0327	0,8157	2,02	20,80	y = 1,5025e ^{1,609x}	0,9905	1,65	15,63	3,04

TABELA B8 – Resultados individuais de densidade de massa das argamassas

Argamassa	Corpo de prova	Massa seca (g)	Massa saturada (g)	Massa imersa (g)	Absorção de água (%)	Índice de vazios (%)	Massa específica (g/cm³)
AA	1	325,33	356,36	167,05	9,54	16,39	1,66
	2	324,68	359,26	170,65	10,65	18,33	1,65
	3	323,46	358,73	169,81	10,90	18,67	1,65
	4	325,45	359,63	170,30	10,50	18,05	1,66
AM	1	348,75	394,42	203,16	13,10	23,88	1,78
	2	352,08	398,15	204,52	13,09	23,79	1,79
	3	352,85	396,53	203,55	12,38	22,63	1,80
	4	354,56	399,48	205,62	12,67	23,17	1,81

AI	1	340,98	378,20	184,62	10,92	19,23	1,74
	2	340,35	377,08	184,06	10,79	19,03	1,73
	3	340,95	378,15	184,03	10,91	19,16	1,74
	4	341,07	378,10	183,92	10,86	19,07	1,74
AU	1	326,81	360,60	170,04	10,34	17,73	1,66
	2	323,78	359,40	168,76	11,00	18,68	1,65
	3	325,92	360,65	168,87	10,66	18,11	1,66
	4	325,10	360,72	169,69	10,96	18,65	1,66

TABELA B9 – Resultados individuais do coeficiente de capilaridade das argamassas

Arg.	Corpo de prova	Massa inicial (g)	Massa final (g)	CC (g/dm ² .min ^{1/2})
AA	1	325,33	336,36	0,69
	2	324,68	339,26	0,91
	3	323,46	338,73	0,95
	4	325,45	339,63	0,89
AM	1	348,75	374,42	1,60
	2	352,08	378,15	1,63
	3	352,85	376,53	1,48
	4	354,56	379,48	1,56
AI	1	340,98	358,20	1,08
	2	340,35	357,08	1,05
	3	340,95	358,15	1,08
	4	341,07	358,10	1,06
AU	1	326,81	340,60	0,86
	2	323,78	339,40	0,98
	3	325,92	340,65	0,92
	4	325,10	340,72	0,98

APÊNDICE C – RESULTADOS INDIVIDUAIS DOS PRISMAS

TABELA C1 – Resultados individuais de resistência à compressão dos prismas preliminares

Prisma	Arg.	CP	Força (N)	Individual (MPa)	Média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)
P-REF	-	1	52776,50	3,01	2,76	0,19	7,00
		2	49234,90	2,81			
		3	46079,40	2,63			
		4	45378,57	2,59			
P-AM	AM	1	69206,70	3,95	3,96	0,34	8,57
		2	64957,70	3,71			
		3	63775,28	3,64			
		4	70450,30	4,02			
		5	78843,07	4,50			
P-AI	AI	1	58245,60	3,32	3,01	0,24	8,10
		2	55890,98	3,19			
		3	49057,91	2,80			
		4	48341,80	2,76			
		5	52477,20	3,00			
P-AU	AU	1	76133,90	4,35	4,32	0,22	5,15
		2	77266,21	4,41			
		3	80311,70	4,58			
		4	74638,11	4,26			
		5	69729,30	3,98			

TABELA C2 – Resultados individuais do módulo de deformação dos prismas preliminares

Prisma	Arg.	CP	Individual (GPa)	Média (GPa)	DP (GPa)	CV (%)
P-REF	-	1	4,01	3,77	0,24	6,28
		2	3,94			
		3	3,54			
		4	3,60			
P-AM	AM	1	4,58	4,81	0,37	7,65
		2	4,61			
		3	4,50			
		4	5,01			
		5	5,37			
P-AI	AI	1	6,14	5,79	0,45	7,79
		2	5,84			
		3	5,01			
		4	5,97			
		5	6,01			
P-AU	AU	1	8,49	8,36	0,53	6,36
		2	8,57			
		3	8,24			
		4	8,98			
		5	7,54			

TABELA C3 – Resultados individuais da tenacidade dos prismas preliminares

Prisma	Arg.	CP	Individual (N/mm ²)	Média (N/mm ²)	DP (N/mm ²)	CV (%)
P-REF	-	1	5,27	4,86	0,32	6,67
		2	4,95			
		3	4,67			
		4	4,54			
P-AM	AM	1	10,10	9,40	0,65	6,95
		2	8,80			
		3	9,04			
		4	10,11			
		5	8,93			
P-AI	AI	1	5,02	4,47	0,56	12,49
		2	4,98			
		3	3,98			
		4	3,81			
		5	4,57			
P-AU	AU	1	6,84	6,81	0,43	6,28
		2	6,98			
		3	7,25			
		4	6,87			
		5	6,10			

TABELA C4 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AM-d0

Prisma	CP n°	Carga ruptura (N)	Seção (mm ²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
								Chapisco/ Argamassa	Argamassa	Argamassa/ cola	Cola/ pastilha
1	1	471	1963	0,24	0,25	0,05	18,63	100			
	2	412	1963	0,21				100			
	3	392	1963	0,20				100			
	4	461	1963	0,23				100			
	5	431	1963	0,22				100			
	6	657	1963	0,33				100			
	7	-	-	-				Falha no corte			
	8	510	1963	0,26				100			
	9	431	1963	0,22				100			
	10	-	-	-				Falha no corte			
	11	59	1963	-				Desprezado			
	12	-	-	-				Falha no corte			
	13	569	1963	0,29				100			
	14	382	1963	0,19				100			
	15	451	1963	0,23				100			
	16	412	1963	0,21				100			
2	1	667	1963	0,34	0,25	0,05	18,63	100			
	2	588	1963	0,30				100			
	3	461	1963	0,23				100			
	4	657	1963	0,33				100			
	5	579	1963	0,29				100			
	6	637	1963	0,32				100			
	7	549	1963	0,28				100			
	8	530	1963	0,27				100			
	9	392	1963	0,20				100			
	10	677	1963	0,34				100			
	11	3619	1963	-					100		

	12	4962	1963	-					100		
	13	579	1963	0,29				100			
	14	353	1963	0,18				100			
	15	402	1963	0,20				100			
	16	-	-	-				Falha no corte			
3	1	530	1963	0,27				100			
	2	490	1963	0,25				100			
	3	412	1963	0,21				100			
	4	520	1963	0,26				100			
	5	579	1963	0,29				85	15		
	6	402	1963	0,20				10	90		
	7	461	1963	0,23				15	85		
	8	490	1963	0,25				20	80		
	9	481	1963	0,24					100		
	10	-	-	-				Falha no corte			
	11	510	1963	0,26				100			
	12	451	1963	0,23					100		
	13	500	1963	0,25				100			
	14	324	1963	0,16					100		
	15	-	-	-				Falha no corte			
	16	-	-	-				Falha no corte			

TABELA C5 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AI-d0

Prisma	CP nº	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
								Chapisco/ Argamassa	Argamassa	Argamassa/ cola	Cola/ pastilha
1	1	-	-	-	0,31	0,10	30,97	Falha no corte			
	2	-	-	-				Falha no corte			
	3	588	1963	0,30				100			
	4	69	1963	-				Desprezado			
	5	657	1963	0,33				10	90		
	6	981	1963	0,50					100		
	7	559	1963	0,28				10	90		
	8	883	1963	0,45					100		
	9	-	-	-				Falha no ensaio			
	10	559	1963	0,28				55	45		
	11	402	1963	0,20				90	10		
	12	618	1963	0,31				10	90		
	13	598	1963	0,30				100			
	14	412	1963	0,21				90	10		
	15	579	1963	0,29				100			
	16	-	-	-				Falha no corte			
2	1	-	-	-	0,31	0,10	30,97	Falha no corte			
	2	294	1963	0,15				100			
	3	39	1963	-				Desprezado			
	4	559	1963	0,28				45	55		
	5	-	-	-				Falha no corte			
	6	294	1963	0,15				100			
	7	588	1963	0,30				100			
	8	677	1963	0,34				85	15		
	9	431	1963	0,22				90	10		
	10	471	1963	0,24				95	5		
	11	382	1963	0,19				100			
	12	-	-	-				Falha no ensaio			
	13	559	1963	0,28				95	5		
	14	981	1963	0,50				90	10		
	15	520	1963	0,26				90	10		
	16	481	1963	0,24				95	5		
3	1	755	1963	0,38	0,31	0,10	30,97	100			
	2	-	-	-				Falha no ensaio			
	3	343	1963	0,17				100			

	4	559	1963	0,28				100			
	5	-	-	-							
	6	-	-	-				Falha no ensaio			
	7	657	1963	0,33				10	90		
	8	-	-	-				Falha no corte			
	9	422	1963	0,21				90	10		
	10	785	1963	0,40					100		
	11	1147	1963	-				20	80		
	12	785	1963	0,40				5	95		
	13	736	1963	0,37				80	20		
	14	873	1963	0,44				10	90		
	15	716	1963	0,36				20	80		
	16	922	1963	0,47					100		

TABELA C6 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AU-d0

CP	CP nº	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
								Chapisco/ Argamassa	Argamassa	Argamassa/ cola	Cola/ pastilha
1	1	78	1963	-	0,33	0,05	15,66	Desprezado			
	2	618	1963	0,31				100			
	3	706	1963	0,36				100			
	4	569	1963	0,29				100			
	5	657	1963	0,33				100			
	6	647	1963	0,33				100			
	7	-	-	-				Falha no corte			
	8	755	1963	0,38				100			
	9	-	-	-				Falha no corte			
	10	-	-	-				Falha no corte			
	11	559	1963	0,28				100			
	12	637	1963	0,32				100			
	13	834	1963	0,42				100			
	14	736	1963	0,37				100			
	15	883	1963	0,45				100			
	16	2334	1963	-				Desprezado			
2	1	588	1963	0,30				100			
	2	677	1963	0,34				100			
	3	539	1963	0,27				100			
	4	598	1963	0,30				100			
	5	88	1963	-				Desprezado			
	6	588	1963	0,30				100			
	7	569	1963	0,29				100			
	8	608	1963	0,31				100			
	9	-	-	-				Falha no corte			
	10	608	1963	0,31				100			
	11	569	1963	0,29				100			
	12	510	1963	0,26				100			
	13	510	1963	0,26				100			
	14	-	-	-				Falha no corte			
	15	657	1963	0,33				100			
	16	539	1963	0,27				100			
3	1	834	1963	0,42				100			
	2	755	1963	0,38				100			
	3	677	1963	0,34				100			
	4	804	1963	0,41				100			
	5	873	1963	0,44				100			
	6	677	1963	0,34				100			
	7	1187	1963	-				Desprezado			
	8	951	1963	-				Desprezado			
	9	-	-	-				Falha no corte			
	10	657	1963	0,33				100			
	11	-	-	-				Falha no corte			

	12	549	1963	0,28				100			
	13	-	-	-				Falha no corte			
	14	618	1963	0,31				100			
	15	-	-	-				Falha no corte			
	16	657	1963	0,33				100			

TABELA C7 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AM-d2

CP	CP nº	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
								Substrato/ chapisco	Chapisco	Chapisco/ Argamassa	Argamassa
1	1	441	1963	0,22	0,22	0,07	31,25			100	
	2	471	1963	0,24						100	
	3	490	1963	0,25						100	
	4	461	1963	0,23						100	
	5	216	1963	0,11						100	
	6	481	1963	0,24						100	
	7	490	1963	0,25						100	
	8	579	1963	0,29						100	
	9	461	1963	0,23						100	
	10	490	1963	0,25						100	
	11	451	1963	0,23						100	
	12	431	1963	0,22						100	
	13	39	1963	-				Desprezado			
	14	226	1963	0,11						100	
	15	431	1963	0,22						100	
	16	461	1963	0,23						100	
2	1	422	1963	0,21						100	
	2	441	1963	0,22						100	
	3	137	1963	0,07						100	
	4	451	1963	0,23						100	
	5	392	1963	0,20						100	
	6	471	1963	0,24						100	
	7	412	1963	0,21						15	85
	8	510	1963	0,26						100	
	9	167	1963	0,08						100	
	10	441	1963	0,22						100	
	11	481	1963	0,24						100	
	12	431	1963	0,22						100	
	13	490	1963	0,25						100	
	14	284	1963	0,14						100	
	15	167	1963	0,08						100	
	16	402	1963	0,20						100	
3	1	431	1963	0,22						100	
	2	500	1963	0,25						100	
	3	510	1963	0,26						100	
	4	520	1963	0,26						100	
	5	1265	1963	-				Desprezado			
	6	2903	1963	-				Desprezado			
	7	392	1963	0,20				Falha na cola			
	8	402	1963	0,20						100	
	9	1079	1963	0,55						100	
	10	412	1963	0,21						100	
	11	412	1963	0,21						100	
	12	-	-	-				Falha no corte			
	13	235	1963	0,12						100	
	14	196	1963	0,10						100	

4	15	441	1963	0,22						100	
	16	422	1963	0,21						100	
	1	510	1963	0,26						100	
	2	216	1963	0,11						100	
	3	481	1963	0,24						100	
	4	451	1963	0,23						100	
	5	500	1963	0,25						100	
	6	373	1963	0,19						100	
	7	216	1963	0,11						100	
	8	471	1963	0,24						100	
	9	500	1963	0,25						100	
	10	-	-	-				Falha no ensaio			
	11	431	1963	0,22						100	
	12	451	1963	0,23						100	
	13	441	1963	0,22				20		80	
5	14	363	1963	0,18						100	
	15	441	1963	0,22						100	
	16	412	1963	0,21						100	
	1	471	1963	0,24						100	
	2	118	1963	0,06						100	
	3	431	1963	0,22						100	
	4	441	1963	0,22						100	
	5	510	1963	0,26						100	
	6	431	1963	0,22						100	
	7	441	1963	0,22						100	
	8	412	1963	0,21						100	
	9	530	1963	0,27				10		90	
	10	520	1963	0,26						100	
	11	461	1963	0,23				60		40	
	12	539	1963	0,27						100	
	13	461	1963	0,23						100	
	14	736	1963	0,37						100	
	15	657	1963	0,33						100	
	16	637	1963	0,32						100	

TABELA C8 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AM-d3

CP	CP nº	Carga ruptura (kgf)	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
									Substrato/ chapisco	Chapisco	Chapisco/ Argamassa	Argamassa
1	1	35	343	1963	0,17	0,19	0,06	31,57			100	
	2	45	441	1963	0,22						100	
	3	44	431	1963	0,22				5		95	
	4	52	510	1963	0,26						100	
	5	37	363	1963	0,18						100	
	6	41	402	1963	0,20						100	
	7	34	333	1963	0,17						100	
	8	41	402	1963	0,20						100	
	9	21	206	1963	0,10						100	
	10	23	226	1963	0,11						100	
	11	17	167	1963	0,08						100	
	12	18	177	1963	0,09						100	
	13	40	392	1963	0,20						100	
	14	41	402	1963	0,20						100	
	15	-	-	-	-				Falha no ensaio			
	16	21	206	1963	0,10						100	

2	1	Ruptura do bloco antes da realização do ensaio				-			
	2					-			
	3					-			
	4					-			
	5					-			
	6					-			
	7					-			
	8					-			
	9					-			
	10					-			
	11					-			
	12					-			
	13					-			
	14					Falha no corte			
	15					-			
	16					-			
3	1	40	392	1963	0,20				
	2	-	-	-	-	Falha no ensaio			
	3	42	412	1963	0,21			100	
	4	41	402	1963	0,20			100	
	5	42	412	1963	0,21			100	
	6	40	392	1963	0,20			100	
	7	45	441	1963	0,22			100	
	8	34	333	1963	0,17			100	
	9	15	147	1963	0,07			100	
	10	20	196	1963	0,10			100	
	11	38	373	1963	0,19			100	
	12	18	177	1963	0,09			100	
	13	56	549	1963	0,28			100	
	14	38	373	1963	0,19			100	
	15	45	441	1963	0,22			100	
	16	40	392	1963	0,20			100	
4	1	37	363	1963	0,18			100	
	2	45	441	1963	0,22			100	
	3	23	226	1963	0,11	10		90	
	4	61	598	1963	0,30			100	
	5	44	431	1963	0,22			100	
	6	45	441	1963	0,22			100	
	7	43	422	1963	0,21			100	
	8	48	471	1963	0,24			100	
	9	13	127	1963	0,06			100	
	10	15	147	1963	0,07			100	
	11	38	373	1963	0,19			100	
	12	36	353	1963	0,18			100	
	13	40	392	1963	0,20			100	
	14	67	657	1963	0,33			100	
	15	47	461	1963	0,23			100	
	16	62	608	1963	0,31			100	
5	1	42	412	1963	0,21			100	
	2	23	226	1963	0,11			100	
	3	41	402	1963	0,20			100	
	4	39	382	1963	0,19			100	
	5	48	471	1963	0,24			100	
	6	42	412	1963	0,21			100	
	7	39	382	1963	0,19			100	
	8	45	441	1963	0,22			100	
	9	34	333	1963	0,17			100	
	10	25	245	1963	0,12			100	
	11	27	265	1963	0,13			100	
	12	28	275	1963	0,14			100	

	13	36	353	1963	0,18						100	
	14	-	-	-	-					Falha no corte		
	15	38	373	1963	0,19						100	
	16	30	294	1963	0,15						100	

TABELA C9 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AM-d4

CP	CP nº	Carga ruptura (kgf)	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
									Chapisco/ Argamassa	Argamassa	Argamassa/ cola	Cola/ pastilha
1	1	36	353	1963	0,18	0,18	0,04	21,26	100			
	2	-	-	-	-							
	3	38	373	1963	0,19				100			
	4	34	333	1963	0,17				100			
	5	40	392	1963	0,20				100			
	6	16	157	1963	0,08				100			
	7	15	147	1963	0,07				100			
	8	39	382	1963	0,19				100			
	9	42	412	1963	0,21				100			
	10	38	373	1963	0,19				100			
	11	36	353	1963	0,18				100			
	12	37	363	1963	0,18				100			
	13	9	88	1963	-							
	14	35	343	1963	0,17				100			
	15	43	422	1963	0,21				100			
	16	41	402	1963	0,20				100			
2	1	44	431	1963	0,22				100			
	2	-	-	-	-							100
	3	-	-	-	-							100
	4	35	343	1963	0,17				100			
	5	38	373	1963	0,19				100			
	6	36	353	1963	0,18				100			
	7	8	78	1963	0,04				100			
	8	40	392	1963	0,20				100			
	9	42	412	1963	0,21				100			
	10	42	412	1963	0,21				100			
	11	43	422	1963	0,21				100			
	12	34	333	1963	0,17				100			
	13	36	353	1963	0,18				100			
	14	37	363	1963	0,18				100			
	15	44	431	1963	0,22				100			
	16	41	402	1963	0,20				100			
3	1	Ruptura do bloco antes da realização do ensaio										
	2											
	3											
	4											
	5											
	6											
	7											
	8											
	9											
	10											
	11											
	12											
	13											
	14											
	15											
	16											
4	1	38	373	1963	0,19				100			

2	37	363	1963	0,18				100			
3	36	353	1963	0,18				100			
4	33	324	1963	0,16				100			
5	-	-	-	-						20	80
6	38	373	1963	0,19						5	95
7	-	-	-	-				100			
8	37	363	1963	0,18				100			
9	-	-	-	-						5	95
10	31	304	1963	0,15				100			
11	38	373	1963	0,19				100			
12	37	363	1963	0,18				100			
13	35	343	1963	0,17				100			
14	53	520	1963	0,26				100			
15	41	402	1963	0,20				100			
16	37	363	1963	0,18				100			

TABELA C10 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AI-d2

CP	CP nº	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
								Chapisco/ Argamassa	Argamassa	Argamassa/ cola	Cola/ pastilha
1	1	510	1963	0,26	0,25	0,05	20,82	95	5		
	2	559	1963	0,28				97	3		
	3	88	1963	-				Desprezado			
	4	530	1963	0,27				100			
	5	-	-	-				Falha no ensaio			
	6	-	-	-							100
	7	-	-	-					100		
	8	510	1963	0,26					100		
	9	-	-	-				100			
	10	-	-	-				Falha no ensaio			
	11	-	-	-				Falha no ensaio			
	12	-	-	-				Falha no ensaio			
	13	481	1963	0,24				100			
	14	461	1963	0,23				100			
	15	-	-	-				Falha no corte			
	16	412	1963	0,21				100			
2	1	530	1963	0,27					100		
	2	-	-	-				Falha no ensaio			
	3	481	1963	0,24				97	3		
	4	500	1963	0,25				100			
	5	461	1963	0,23					100		
	6	539	1963	0,27				5	95		
	7	490	1963	0,25					100		
	8	1000	1963	-					100		
	9	-	-	-				Falha no corte			
	10	-	-	-				Falha no corte			
	11	-	-	-				Falha no corte			
	12	471	1963	0,24				100			
	13	-	-	-				Falha no corte			
	14	-	-	-				Falha no corte			
	15	530	1963	0,27				100			
	16	549	1963	0,28				100			
3	1	530	1963	0,27				5	95		
	2	490	1963	0,25				100			
	3	569	1963	0,29				100			
	4	88	1963	-				Desprezado			
	5	520	1963	0,26				100			

4	6	559	1963	0,28				100			
	7	461	1963	0,23				100			
	8	539	1963	0,27				100			
	9	-	-	-				Falha no corte			
	10	-	-	-				Falha no corte			
	11	559	1963	0,28				20	80		
	12	441	1963	0,22				100			
	13	569	1963	0,29				100			
	14	157	1963	0,08				100			
	15	608	1963	0,31				100			
	16	-	-	-				Falha no corte			
	1	-	-	-				Falha no corte			
	2	530	1963	0,27				10	90		
	3	-	-	-				Falha no ensaio			
	4	-	-	-				Falha no corte			
4	5	569	1963	0,29				100			
	6	78	1963	0,04				100			
	7	20	1963	-				Desprezado			
	8	-	-	-				Falha no ensaio			
	9	-	-	-				Falha no corte			
	10	559	1963	0,28				100			
	11	-	-	-				Falha no corte			
	12	569	1963	0,29				100			
	13	69	1963	-				Desprezado			
	14	579	1963	0,29				100			
	15	559	1963	0,28				100			
	16	500	1963	0,25				100			

TABELA C11 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AI-d3

CP	CP nº	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
								Chapisco/ Argamassa	Argamassa	Argamassa/ cola	Cola/ pastilha
1	1	-	-	-	0,21	0,07	31,12	Falha no corte			
	2	363	1963	0,18				20	80		
	3	-	-	-				Falha no corte			
	4	-	-	-				Falha no corte			
	5	-	-	-				Falha no ensaio			
	6	402	1963	0,20				100			
	7	-	-	-				Falha no corte			
	8	441	1963	0,22				10	90		
	9	-	-	-				Falha no corte			
	10	-	-	-				Falha no ensaio			
	11	39	1963	-				Desprezado			
	12	20	1963	-				Desprezado			
	13	451	1963	0,23				90	10		
	14	1020	1963	0,52				100			
	15	-	-	-				Falha no corte			
	16	157	1963	-				100			
2	1	441	1963	0,22	0,21	0,07	31,12	100			
	2	431	1963	0,22				100			
	3	206	1963	0,10				100			
	4	-	-	-				100			
	5	441	1963	0,22				Falha no corte			
	6	392	1963	0,20				100			
	7	-	-	-				Falha no corte			
	8	255	1963	0,13				100			
	9	-	-	-				Falha no corte			
	10	-	-	-				Falha no ensaio			

	11	-	-	-							100
	12	392	1963	0,20				100			
	13	451	1963	0,23				100			
	14	402	1963	0,20				100			
	15	441	1963	0,22				10	90		
	16	471	1963	0,24				100			
3	1	-	-	-				Falha no ensaio			
	2	-	-	-				Falha no ensaio			
	3	-	-	-				Falha no ensaio			
	4	69	1963	-				100			
	5	-	-	-				Falha no ensaio			
	6	-	-	-				Falha no ensaio			
	7	-	-	-				Falha no corte			
	8	-	-	-				Falha no ensaio			
	9	167	1963	-				100			
	10	-	-	-				Falha no corte			
	11	-	-	-				Falha no corte			
	12	-	-	-				Falha no corte			
	13	-	-	-				Falha no corte			
	14	-	-	-				Falha no ensaio			
	15	-	-	-				Falha no corte			
	16	-	-	-				100			
4	1	-	-	-				Falha no ensaio			
	2	-	-	-				Falha no ensaio			
	3	422	1963	0,21				100			
	4	333	1963	0,17				100			
	5	451	1963	0,23				100			
	6	461	1963	0,23				100			
	7	-	-	-				Falha no ensaio			
	8	-	-	-				Falha no ensaio			
	9	412	1963	0,21				100			
	10	-	-	-				Falha no corte			
	11	412	1963	0,21							100
	12	-	-	-				Falha no corte			
	13	-	-	-				Falha no corte			
	14	402	1963	0,20							100
	15	-	-	-				Falha no corte			
	16	382	1963	0,19				60	40		
5	1	-	-	-				Falha no corte			
	2	-	-	-				Falha no corte			
	3	402	1963	0,20				95	5		
	4	422	1963	0,21				100			
	5	343	1963	0,17				100			
	6	-	-	-							100
	7	147	1963	-				100			
	8	118	1963	-				100			
	9	471	1963	0,24				100			
	10	-	-	-				Falha no corte			
	11	284	1963	0,14				100			
	12	-	-	-				Falha no corte			
	13	461	1963	0,23				90	10		
	14	235	1963	0,12				90	10		
	15	-	-	-				Falha no corte			
	16	412	1963	0,21				100			

TABELA C12 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AI-d4

CP	CP nº	Carga ruptura (kgf)	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)				
									Chapisco/ Argamassa	Argamassa	Argamassa/ cola	Cola/ pastilha	
1	1	-	-	-	-	0,20	0,03	16,58	Falha no corte				
	2	3	29	1963	-				100				
	3	-	-	-	-				Falha no corte				
	4	34	333	1963	0,17				100				
	5	-	-	-	-				Falha no corte				
	6	-	-	-	-				Falha no ensaio				
	7	-	-	-	-				Falha no corte				
	8	-	-	-	-				Falha no corte				
	9	-	-	-	-							100	
	10	-	-	-	-				Falha no corte				
	11	54	530	1963	0,27				100				
	12	44	431	1963	0,22				100				
	13	38	373	1963	0,19				100				
	14	56	549	1963	0,28				100				
	15	5	49	1963	-				100				
	2	1	-	-	-				-	Falha no ensaio			
2		-	-	-	-				Falha no corte				
3		-	-	-	-				Falha no ensaio				
4		-	-	-	-				Falha no corte				
5		-	-	-	-				Falha no ensaio				
6		29	284	1963	0,14				Falha no corte				
7		-	-	-	-				Desprezado				
8		-	-	-	-				Falha no corte				
9		Revestimento se desprende antes da execução do ensaio.							Falha no corte				
10									-				
11									-				
12									-				
13									-				
14									-				
15									-				
16									-				
3	1	36	353	1963	0,18				100				
	2	37	363	1963	0,18	Falha no corte							
	3	-	-	-	-	100							
	4	36	353	1963	0,18	100							
	5	35	343	1963	0,17	100							
	6	42	412	1963	0,21	100							
	7	37	363	1963	0,18	100							
	8	4	39	1963	-	100							
	9	-	-	-	-				100				
	10	-	-	-	-	Falha no corte							
	11	-	-	-	-	Falha no ensaio							
	12	39	382	1963	0,19	100							
	13	42	412	1963	0,21	100							
	14	41	402	1963	0,20	100							
	15	-	-	-	-	Falha no corte							
	4	1	-	-	-	-	Falha no corte						
2		-	-	-	-	Falha no ensaio							
3		-	-	-	-	Falha no ensaio							
4		38	373	1963	0,19	Falha no corte							
5		-	-	-	-	100							
6		-	-	-	-	Falha no corte							
7		-	-	-	-	Falha no ensaio							
8		-	-	-	-	Falha no corte							
9		36	353	1963	0,18	Falha no corte							
10		-	-	-	-	100							
11		-	-	-	-	Falha no ensaio							
12		-	-	-	-	Falha no corte							
13		14	137	1963	-	Falha no corte							
14		18	177	1963	-	100							

	15	-	-	-	-				Falha no corte	
	16	-	-	-	-				Falha no corte	
5	1	-	-	-	-				Falha no corte	
	2	-	-	-	-				Falha no corte	
	3	35	343	1963	0,17		100			
	4	36	353	1963	0,18		100			
	5	47	461	1963	0,23		100			
	6	49	481	1963	0,24		100			
	7	-	-	-	-					
	8	46	451	1963	0,23				Falha no corte	
	9	Revestimento se desprende antes da execução do ensaio.								
	10						Falha no corte			
	11						Falha no corte			
	12						-			
	13						Falha no corte			
	14						-			
	15						-			
	16						-			

TABELA C13 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AU-d2

CP	CP nº	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
								Chapisco/ Argamassa	Argamassa	Argamassa/ cola	Cola/ pastilha
1	1	598	1963	0,30	0,27	0,06	23,15	100			
	2	608	1963	0,31				100			
	3	785	1963	0,40				100			
	4	647	1963	0,33				100			
	5	500	1963	0,25				100			
	6	569	1963	0,29				100			
	7	608	1963	0,31				100			
	8	579	1963	0,29				100			
	9	618	1963	0,31				100			
	10	69	1963	-				Desprezado			
	11	539	1963	0,27				100			
	12	569	1963	0,29				100			
	13	559	1963	0,28				100			
	14	539	1963	0,27				100			
	15	520	1963	0,26				100			
	16	-	-	-							100
2	1	559	1963	0,28	0,27	0,06	23,15	100			
	2	-	-	-				Falha no ensaio			
	3	569	1963	0,29				100			
	4	598	1963	0,30				100			
	5	539	1963	0,27				100			
	6	39	1963	-				Desprezado			
	7	-	-	-				Falha no ensaio			
	8	618	1963	0,31				100			
	9	628	1963	0,32				100			
	10	569	1963	0,29				100			
	11	539	1963	0,27				100			
	12	608	1963	0,31				100			
	13	549	1963	0,28				100			
	14	667	1963	0,34				100			
	15	559	1963	0,28				100			
	16	667	1963	0,34				100			
3	1	-	-	-	0,27	0,06	23,15	Falha no ensaio			
	2	598	1963	0,30				100			
	3	588	1963	0,30				100			
	4	618	1963	0,31				100			
	5	471	1963	0,24				100			
	6	431	1963	0,22				100			

	7	-	-	-					Falha no corte			
	8	314	1963	0,16					100			
	9	-	-	-					Falha no ensaio			
	10	608	1963	0,31					100			
	11	196	1963	0,10					100			
	12	618	1963	0,31					100			
	13	549	1963	0,28					100			
	14	69	1963	-					Desprezado			
	15	392	1963	0,20					100			
	16	382	1963	0,19					100			
4	1	530	1963	0,27					100			
	2	559	1963	0,28					100			
	3	451	1963	0,23					100			
	4	490	1963	0,25					100			
	5	255	1963	0,13					100			
	6	598	1963	0,30					100			
	7	-	-	-					Falha no ensaio			
	8	98	1963	0,05					100			
	9	-	-	-					100			
	10	579	1963	0,29					Falha no ensaio			
	11	608	1963	0,31					100			
	12	275	1963	0,14					100			
	13	39	1963	-					Desprezado			
	14	637	1963	0,32					100			
	15	588	1963	0,30					100			
	16	598	1963	0,30					100			

TABELA C14 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AU-d3

CP	CP nº	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)			
								Chapisco/Argamassa	Argamassa	Argamassa/cola	Cola/pastilha
1	1	490	1963	0,25	0,23	0,06	26,91	100			
	2	441	1963	0,22				100			
	3	530	1963	0,27				100			
	4	490	1963	0,25				100			
	5	520	1963	0,26				100			
	6	98	1963	0,05				100			
	7	481	1963	0,24				100			
	8	1471	1963	-					100		
	9	2275	1963	-				100			
	10	-	-	-				Falha no ensaio			
	11	441	1963	0,22				100			
	12	-	-	-				Falha no corte			
	13	490	1963	0,25				100			
	14	-	-	-				Falha no corte			
	15	451	1963	0,23				100			
	16	333	1963	0,17				100			
2	1	-	-	-	0,23	0,06	26,91	Falha no ensaio			
	2	500	1963	0,25				100			
	3	-	-	-				Falha no ensaio			
	4	520	1963	0,26				100			
	5	324	1963	0,16				100			
	6	471	1963	0,24				100			
	7	441	1963	0,22				100			
	8	549	1963	0,28				100			
	9	569	1963	0,29				100			
	10	-	-	-				Falha no ensaio			
	11	422	1963	0,21				100			
	12	530	1963	0,27				100			
	13	647	1963	0,33				100			

	14	569	1963	0,29				100			
	15	343	1963	0,17				100			
	16	441	1963	0,22				100			
3	1	98	1963	0,05				100			
	2	530	1963	0,27				100			
	3	637	1963	0,32				100			
	4	402	1963	0,20				100			
	5	157	1963	0,08				100			
	6	451	1963	0,23				100			
	7	431	1963	0,22				100			
	8	559	1963	0,28				100			
	9	412	1963	0,21				100			
	10	343	1963	0,17				100			
	11	-	-	-						20	80
	12	618	1963	0,31				100			
	13	510	1963	0,26				100			
	14	-	-	-				Falha no corte			
	15	539	1963	0,27				100			
	16	216	1963	0,11				100			
4	1	-	-	-				Falha no ensaio			
	2	569	1963	0,29				100			
	3	490	1963	0,25				100			
	4	353	1963	0,18				100			
	5	216	1963	0,11				100			
	6	598	1963	0,30				100			
	7	461	1963	0,23				100			
	8	343	1963	0,17				100			
	9	451	1963	0,23				100			
	10	608	1963	0,31				100			
	11	-	-	-				Falha no ensaio			
	12	402	1963	0,20				100			
	13	471	1963	0,24				100			
	14	579	1963	0,29				100			
	15	618	1963	0,31				100			
	16	618	1963	0,31				100			
5	1	451	1963	0,23					100		
	2	402	1963	0,20				100			
	3	471	1963	0,24				100			
	4	392	1963	0,20				100			
	5	441	1963	0,22				100			
	6	304	1963	0,15				100			
	7	510	1963	0,26				100			
	8	618	1963	0,31				100			
	9	-	-	-				Falha no ensaio			
	10	-	-	-				Falha no ensaio			
	11	637	1963	0,32				100			
	12	579	1963	0,29				100			
	13	471	1963	0,24				100			
	14	539	1963	0,27				100			
	15	461	1963	0,23				100			
	16	304	1963	0,15				100			

TABELA C15 – Resultados individuais da resistência de aderência à tração dos prismas P-AU-d4

CP	CP nº	Carga ruptura (kgf)	Carga ruptura (N)	Seção (mm²)	Ra (MPa)	Ra média (MPa)	DP (MPa)	CV (%)	Forma de ruptura (%)						
									Chapisco/ Argamassa	Argamassa	Argamassa/ cola	Cola/ pastilha			
1	1	35	343	1963	0,17	0,21	0,06	28,07	100						
	2	-	-	-	-				Falha no ensaio						
	3	40	392	1963	0,20				100						
	4	52	510	1963	0,26				100						
	5	48	471	1963	0,24				100						
	6	53	520	1963	0,26				100						
	7	40	392	1963	0,20				100						
	8	45	441	1963	0,22				100						
	9	-	-	-	-				Falha no ensaio						
	10	15	147	1963	0,07				100						
	11	52	510	1963	0,26				100						
	12	40	392	1963	0,20				100						
	13	10	98	1963	0,05				100						
	14	48	471	1963	0,24				100						
	15	-	-	-	-				Falha no ensaio						
	16	43	422	1963	0,21				100						
2	1	-	-	-	-										100
	2	40	392	1963	0,20				80	20					
	3	60	588	1963	0,30				100						
	4	39	382	1963	0,19				100						
	5	47	461	1963	0,23				100						
	6	46	451	1963	0,23				100						
	7	41	402	1963	0,20				100						
	8	4	39	1963	-				100						
	9	40	392	1963	0,20				100						
	10	-	-	-	-									100	
	11	45	441	1963	0,22				100						
	12	46	451	1963	0,23				100						
	13	38	373	1963	0,19				100						
	14	49	481	1963	0,24				100						
	15	42	412	1963	0,21				100						
	16	47	461	1963	0,23				100						
3	1	15	147	1963	0,07	100									
	2	-	-	-	-						100				
	3	-	-	-	-	Falha no ensaio									
	4	45	441	1963	0,22	100									
	5	51	500	1963	0,25	100									
	6	10	98	1963	0,05	100									
	7	-	-	-	-	Falha no ensaio									
	8	-	-	-	-	100									
	9	41	402	1963	0,20	100									
	10	-	-	-	-	Falha no ensaio									
	11	48	471	1963	0,24	100									
	12	38	373	1963	0,19	100									
	13	2	20	1963	-	90	10								
	14	5	49	1963	-	85	15								
	15	51	500	1963	0,25	15	85								
	16	45	441	1963	0,22	70	30								
4	1	Revestimento frontal rompeu antes da execução do ensaio.					-								
	2						-								
	3						-								
	4						Falha no corte								
	5														
	6						Falha no corte								
	7						Falha no corte								

FIGURA 76 – Prisma P-AM-d3 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)

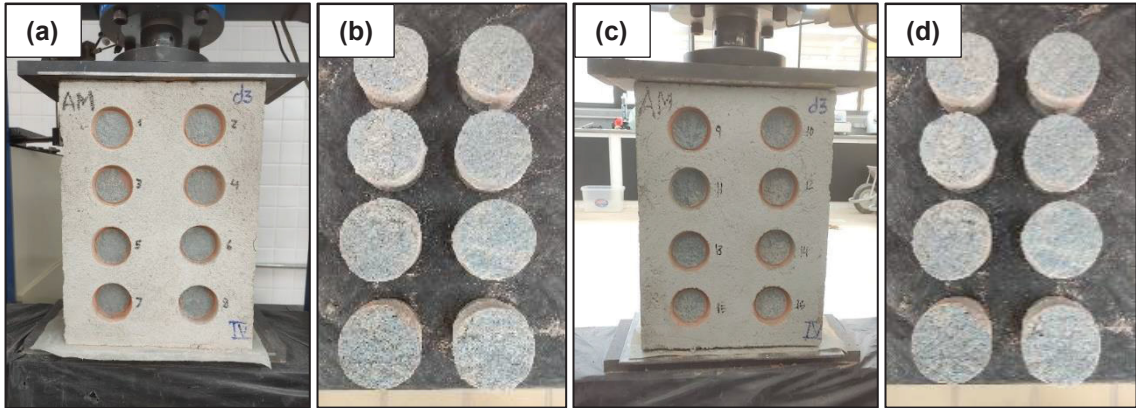


FIGURA 77 – Prisma P-AM-d4 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)

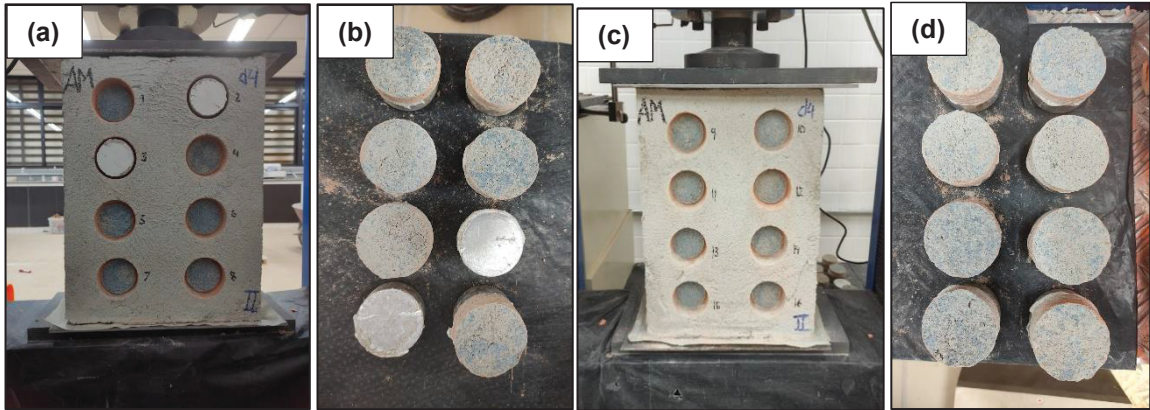


FIGURA 78 – Prisma P-AI-d2 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)

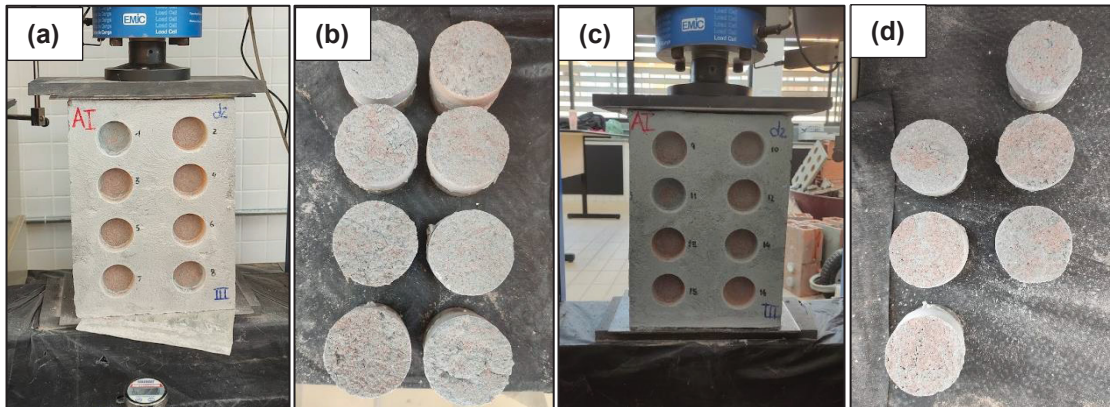


FIGURA 79 – Prisma P-AI-d3 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)

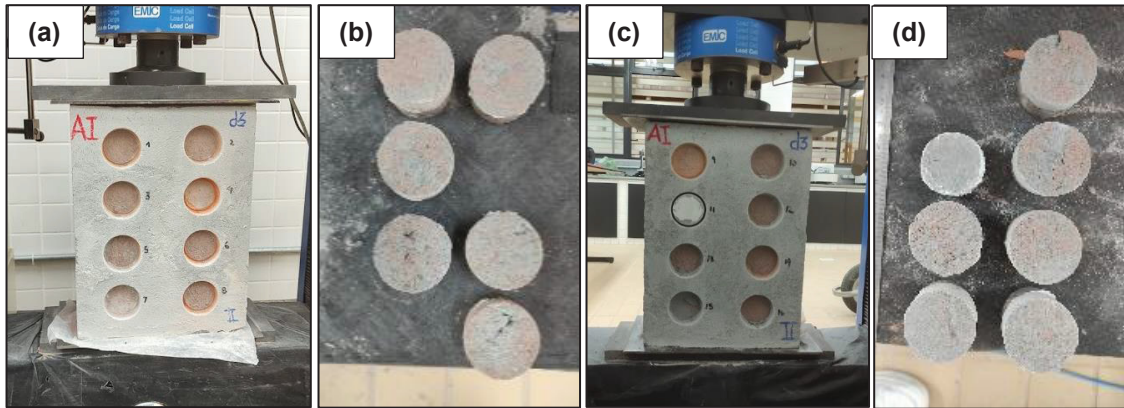


FIGURA 80 – Prisma P-AI-d4 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)

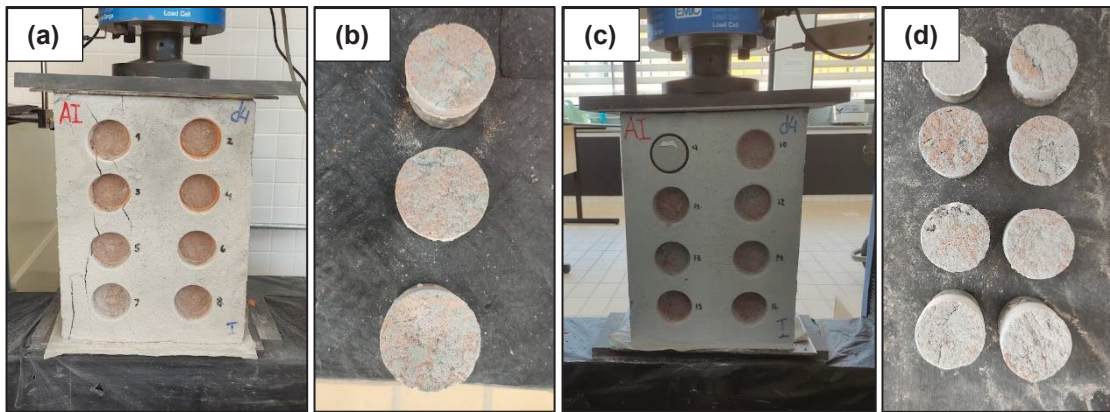


FIGURA 81 – Prisma P-AU-d2 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)

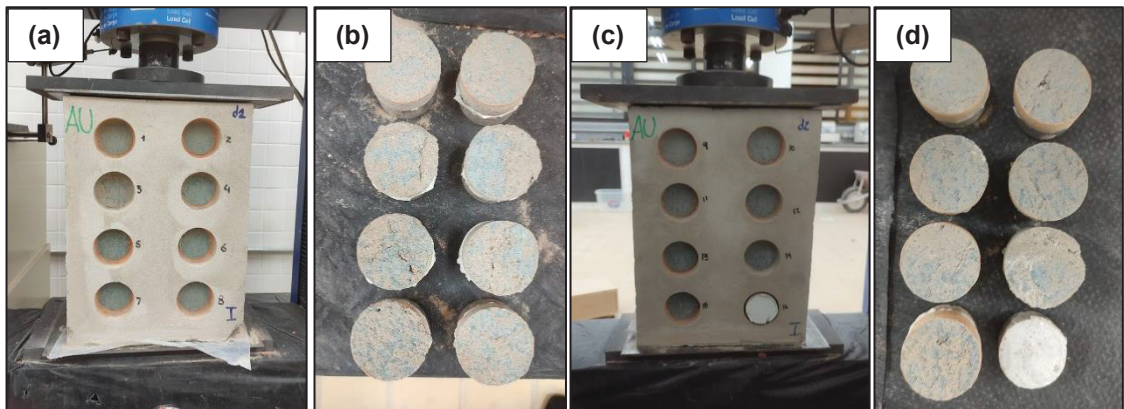


FIGURA 82 – Prisma P-AU-d3 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)

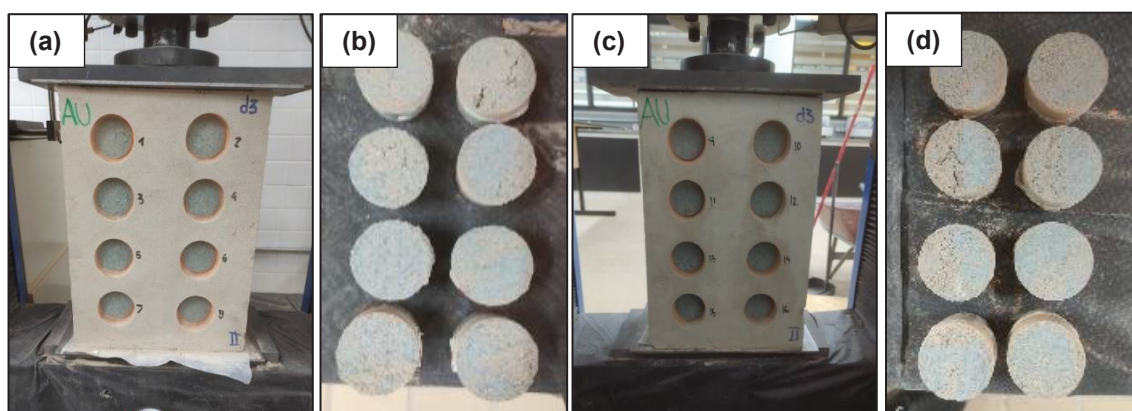


FIGURA 83 – Prisma P-AU-d4 após ensaio de aderência: prisma e CP - face frontal (a, b), prisma e CP - face oposta (c, d)

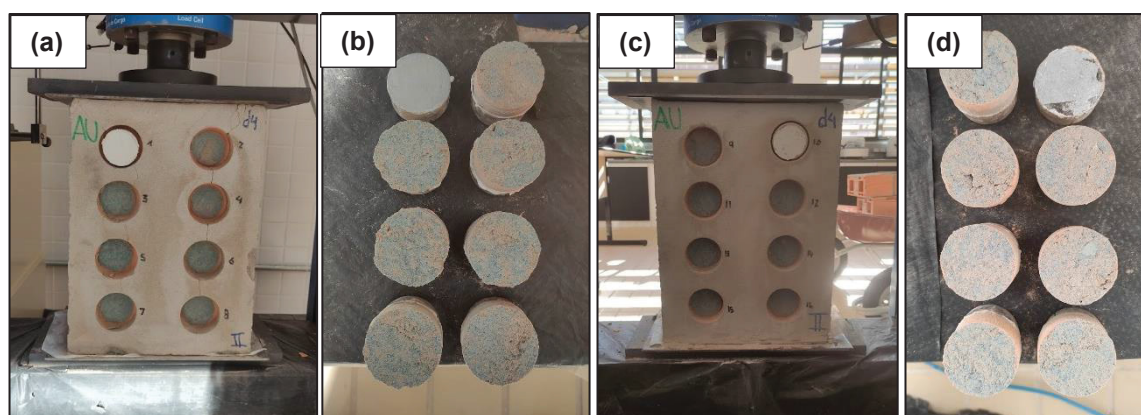


TABELA C16 – Resultados individuais das forças atuantes nos prismas

ARG.	CP	Deslocamentos					
		2 mm		3 mm		4 mm	
		F _{d2} (N)	F _{máx} (N)	F _{d3} (N)	F _{máx} (N)	F _{d4} (N)	F _{máx} (N)
AM	1	12444	51192	19081	63608	41757	54499
	2	10378	59757	32530	53334	32901	71719
	3	7237	63109	31123	40253	40315	38267
	4	11719	44287	21847	67279	21650	72124
	5	10409	61507	17026	42440	-	-
	Valor médio	10445	54586	26145	56119	34156	59152
	DP (N)	4102	7989	8308	14021	5428	10061
	CV (%)	39	15	32	25	16	17
AI	1	13237	44853	36247	51078	44544	67840
	2	14932	38381	35290	67216	25414	50766
	3	11230	51483	32542	77168	36693	64502
	4	16544	53927	34124	58419	43546	53885
	5	-	-	30551	63514	33910	40970
	Valor médio	13986	47161	33751	63479	36821	55593
	DP (N)	2280	6997	1763	6984	5779	8463
	CV (%)	16	15	5	11	16	15
AU	1	10128	80495	31241	64419	37896	79633

2	17140	64377	50641	47605	48714	42904
3	19061	36052	31376	67254	30842	56828
4	11927	92162	36281	68974	42527	66467
5	-	-	-	-	45920	54894
Valor médio	14564	68272	37385	62063	41180	60145
DP (N)	4223	24313	6628	7229	5449	10324
CV (%)	29	36	18	12	13	17

Nota: F_{d2} ; F_{d3} ; F_{d4} (forças atuantes quando atingidos os deslocamentos d2, d3 e d4, respectivamente); $F_{m\acute{a}x}$ (força máxima atingida).

TABELA C17 – Resultados individuais do módulo de deformação dos prismas

P-AM				P-AI				P-AU			
CP	d2	d3	d4	CP	d2	d3	d4	CP	d2	d3	d4
1	4,40	5,03	5,30	1	7,60	7,40	9,12	1	6,20	6,43	7,15
2	4,40	5,11	5,70	2	7,64	9,12	9,31	2	6,00	6,98	6,97
3	4,68	5,04	4,90	3	7,92	8,54	8,50	3	6,25	6,60	6,61
4	4,87	5,40	*	4	7,80	8,86	*	4	6,10	6,81	*
5	4,12	*	-	5	8,30	-	*	5	6,87	-	-
Média (GPa)	4,49	5,15	5,30	Média (GPa)	7,85	8,48	8,98	Média (GPa)	6,28	6,71	6,91
DP (GPa)	0,29	0,17	0,40	DP (GPa)	0,28	0,76	0,42	DP (GPa)	0,34	0,24	0,27
CV (%)	6,42	3,38	7,55	CV (%)	3,58	8,94	4,72	CV (%)	5,43	3,58	3,98

(*) corpo de prova desprezado devido à discrepância da curva.

APÊNDICE D – ANÁLISE ESTATÍSTICA

TABELA D1 – ANOVA do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas

Módulo de elasticidade dinâmico						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
AM	6	32,49	5,42	0,28		
AI	6	63,66	10,61	0,73		
AU	6	54,59	9,10	0,34		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	85,65	2	42,83	95,02	3,03E-09	3,68
Dentro dos grupos	6,76	15	0,45		< 0,05	
Total	92,42	17			Há diferença significativa	

Nota: SQ (soma de quadrados); gl (grau de liberdade); MQ (médias quadradas); F (distribuição F de SNEDECOR); valor-P (0,05 é o nível de significância do teste); F crítico (comparação da hipótese).

TABELA D2 – ANOVA das propriedades mecânicas das argamassas

Resistência à tração na flexão						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
AM	6	6,23	1,04	0,01		
AI	6	16,65	2,77	0,03		
AU	5	12,09	2,42	0,02		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	9,97	2	4,98	258,63	8,82E-12	3,74
Dentro dos grupos	0,27	14	0,02		< 0,05	
Total	10,24	16			Há diferença significativa	

Resistência à compressão						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
AM	11	36,76	3,34	0,03		
AI	7	50,33	7,19	0,02		
AU	6	37,02	6,17	0,09		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	71,35	2	35,68	841,52	8,7E-21	3,47
Dentro dos grupos	0,89	21	0,04		< 0,05	
Total	72,24	23			Há diferença significativa	

Nota: SQ (soma de quadrados); gl (grau de liberdade); MQ (médias quadradas); F (distribuição F de SNEDECOR); valor-P (0,05 é o nível de significância do teste); F crítico (comparação da hipótese).

TABELA D3 – ANOVA da rugosidade dos substratos

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
Base metálica	3	0,89	0,30	0,00		
Bloco cerâmico	3	5,23	1,74	0,01		
Chapisco	3	51,59	17,20	1,23		
<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	526,64	2	263,32	636,41	1,03E-07	5,14
Dentro dos grupos	2,48	6	0,41		< 0,05	
Total	529,12	8			Há diferença significativa	

Nota: SQ (soma de quadrados); gl (grau de liberdade); MQ (médias quadradas); F (distribuição F de SNEDECOR); valor-P (0,05 é o nível de significância do teste); F crítico (comparação da hipótese).

TABELA D4 – ANOVA das propriedades das argamassas no estado fresco

Consistência						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
AM	3	761,00	253,67	0,778		
AI	3	786,00	262,00	0,111		
AU	3	805,67	268,56	0,037		
<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	334,10	2	167,05	541,24	1,67E-07	5,14
Dentro dos grupos	1,85	6	0,31		< 0,05	
Total	335,95	8			Há diferença significativa	
Densidade de massa fresca						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
AM	4	8148,73	2037,18	51,88		
AI	4	7736,20	1934,05	75,65		
AU	4	7430,63	1857,66	23,78		
<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	64936,34	2	32468,17	643,76	1,93E-10	4,26
Dentro dos grupos	453,92	9	50,44		< 0,05	
Total	65390,26	11			Há diferença significativa	
Teor de ar incorporado						
<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>		
AM	4	13,98	3,50	0,1164		
AI	4	63,10	15,78	0,1435		
<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	301,57	1	301,57	2320,80	5,36E-09	5,99

Dentro dos grupos	0,78	6	0,13	< 0,05 Há diferença significativa
Total	302,35	7		

Nota: SQ (soma de quadrados); gl (grau de liberdade); MQ (médias quadradas); F (distribuição F de SNEDECOR); valor-P (0,05 é o nível de significância do teste); F crítico (comparação da hipótese).

TABELA D5 – ANOVA das propriedades físicas das argamassas no estado endurecido

Densidade de massa						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
AM	4	7,17	1,79	1,542E-04		
AI	4	6,94	1,74	2,807E-06		
AU	4	6,63	1,66	4,300E-05		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,04	2	0,02	278,83	8,019E-09	4,26
Dentro dos grupos	0,0006	9	6,66E-05		< 0,05 Há diferença significativa	
Total	0,038	11				
Coeficiente de capilaridade						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
AM	4	6,27	1,57	4,315E-03		
AI	4	4,26	1,07	2,007E-04		
AU	4	3,74	0,93	2,984E-03		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,90	2	0,45	179,18	5,638E-08	4,26
Dentro dos grupos	0,02	9	0,002		< 0,05 Há diferença significativa	
Total	0,92	11				

Nota: SQ (soma de quadrados); gl (grau de liberdade); MQ (médias quadradas); F (distribuição F de SNEDECOR); valor-P (0,05 é o nível de significância do teste); F crítico (comparação da hipótese).

TABELA D6 – ANOVA da aderência para os diferentes revestimentos de argamassa

Deslocamento d2						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
P-AM-d2	75	16,647	0,222	0,005		
P-AI-d2	36	9,145	0,254	0,003		
P-AU-d2	52	14,229	0,274	0,004		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,085	2	0,043	10,370	5,82E-05	3,053
Dentro dos grupos	0,659	160	0,004		< 0,05 Há diferença significativa	
Total	0,744	162				
Deslocamento d3						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
P-AM-d3	60	11,21	0,19	0,003		
P-AI-d3	32	6,78	0,21	0,004		

P-AU-d3	66	15,46	0,23	0,004		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,071	2	0,035	9,251	1,60E-04	3,054
Dentro dos grupos	0,592	155	0,004		< 0,05	
Total	0,663	157			Há diferença significativa	
Deslocamento d4						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
P-AM-d4	41	7,497	0,183	0,002		
P-AI-d4	22	4,430	0,201	0,001		
P-AU-d4	46	9,654	0,210	0,003		
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,016	2	0,008	3,567	3,17E-02	3,082
Dentro dos grupos	0,240	106	0,002		< 0,05	
Total	0,256	108			Há diferença significativa	

Nota: SQ (soma de quadrados); gl (grau de liberdade); MQ (médias quadradas); F (distribuição F de SNEDECOR); valor-P (0,05 é o nível de significância do teste); F crítico (comparação da hipótese).

TABELA D7 – Teste t da aderência dos revestimentos de argamassa em diferentes deslocamentos

Argamassas	P-AM-d0	P-AM-d2	P-AM-d2	P-AM-d3	P-AM-d3	P-AM-d4
Média	0,25	0,22	0,22	0,19	0,19	0,18
Variância	0,00	0,00	0,005	0,003	0,003	0,002
Observações	37	75	75	61	61	41
Hipótese da diferença de média	0		0		0	
gl	101		134		100	
Stat t	2,96	> t crítico	3,33	> t crítico	0,27	< t crítico
P(T<=t) bi-caudal	3,83E-03	< 0,05	1,13E-03	< 0,05	0,79	> 0,05
t crítico bi-caudal	1,98		1,98		1,98	
Análise estatística	Há diferença significativa		Há diferença significativa		Não há diferença significativa	
Argamassas	P-AI-d0	P-AI-d2	P-AI-d2	P-AI-d3	P-AI-d3	P-AI-d4
Média	0,31	0,25	0,25	0,21	0,21	0,20
Variância	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Observações	34	36	36	32	32	22
Hipótese da diferença de média	0		0		0	
gl	51		59		48	
Stat t	4,77	> t crítico	2,89	> t crítico	0,76	< t crítico
P(T<=t) bi-caudal	4,82E-03	< 0,05	5,38E-03	< 0,05	0,45	> 0,05
t crítico bi-caudal	2,01		2,00		2,01	
Análise estatística	Há diferença significativa		Há diferença significativa		Não há diferença significativa	
Argamassas	P-AU-d0	P-AU-d2	P-AU-d2	P-AU-d3	P-AU-d3	P-AU-d4
Média	0,33	0,27	0,27	0,23	0,23	0,21

Variância	0,003	0,004	0,00	0,00	0,00	0,00
Observações	34	52	52	66	66	46
Hipótese da diferença de média	0		0		0	
gl	79		109		101	
Stat t	4,77	> t crítico	3,36	> t crítico	2,09	< t crítico
P(T<=t) bi-caudal	8,36E-06	< 0,05	1,06E-03	< 0,05	0,06	> 0,05
t crítico bi-caudal	1,99		1,98		1,98	
Análise estatística	Há diferença significativa		Há diferença significativa		Não há diferença significativa	

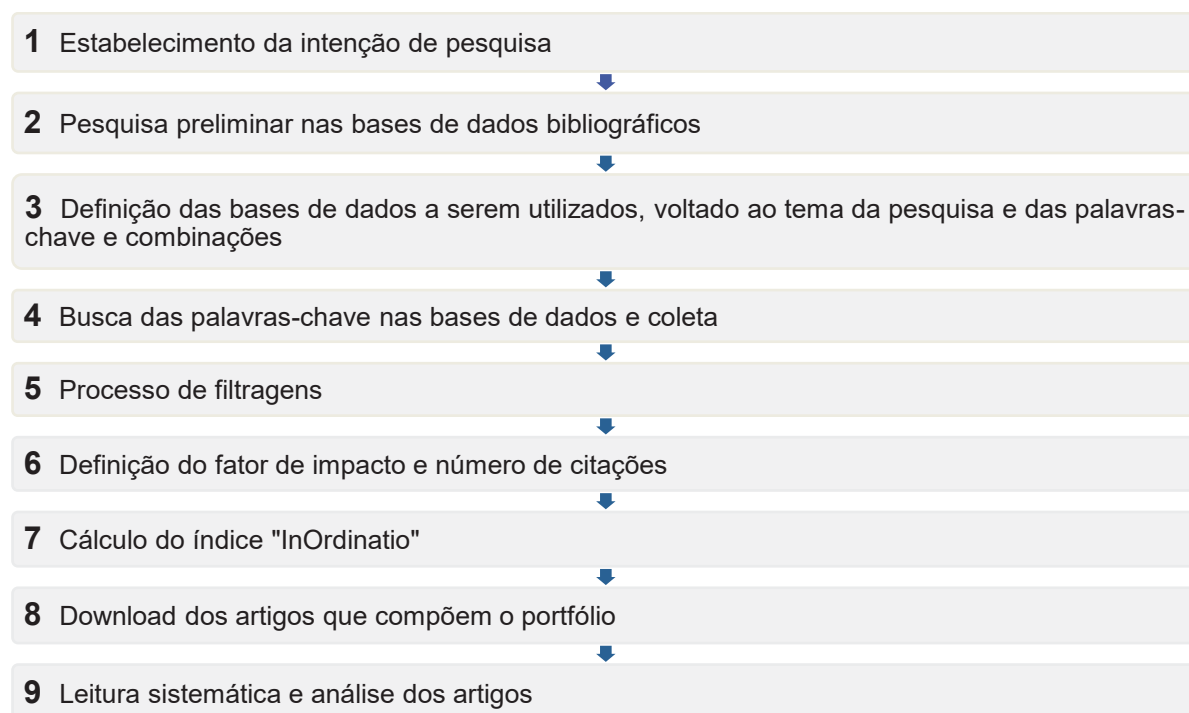
TABELA D8 – Teste t do módulo de deformação dos prismas em diferentes deslocamentos

Argamassas	P-AM-d2	P-AM-d3	P-AM-d3	P-AM-d4	P-AM-d2	P-AM-d4
Média	4,49	5,15	5,15	5,30	4,49	5,30
Variância	0,08	0,03	0,03	0,16	0,08	0,16
Observações	5	4	4	3	5	3
Hipótese da diferença de média	0		0		0	
gl	7		3		3	
Stat t	-4,18	> t crítico	-0,63	< t crítico	-3,21	> t crítico
P(T<=t) bi-caudal	0,004	< 0,05	0,57	> 0,05	0,04	< 0,05
t crítico bi-caudal	2,36		3,18		3,18	
Análise estatística	Há diferença significativa		Não há diferença significativa		Há diferença significativa	
Argamassas	P-AI-d2	P-AI-d3	P-AI-d3	P-AI-d4	P-AI-d2	P-AI-d4
Média	7,85	8,48	8,48	8,98	7,85	8,98
Variância	0,08	0,57	0,57	0,18	0,08	0,18
Observações	5	4	4	3	5	3
Hipótese da diferença de média	0		0		0	
gl	4		5		3	
Stat t	-1,57	< t crítico	-1,10	< t crítico	-4,09	> t crítico
P(T<=t) bi-caudal	0,19	> 0,05	0,32	> 0,05	0,03	< 0,05
t crítico bi-caudal	2,78		2,57		3,18	
Análise estatística	Não há diferença significativa		Não há diferença significativa		Há diferença significativa	
Argamassas	P-AU-d2	P-AU-d3	P-AU-d3	P-AU-d4	P-AU-d2	P-AU-d4
Média	6,28	6,71	6,71	6,91	6,28	6,91
Variância	0,12	0,06	0,06	0,08	0,12	0,08
Observações	5	4	4	3	5	3
Hipótese da diferença de média	0		0		0	
gl	7		4		5	
Stat t	-2,17	< t crítico	-1,03	< t crítico	-2,84	> t crítico
P(T<=t) bi-caudal	0,07	> 0,05	0,36	> 0,05	0,04	< 0,05
t crítico bi-caudal	2,36		2,78		2,57	
Análise estatística	Não há diferença significativa		Não há diferença significativa		Há diferença significativa	

APÊNDICE E – REVISÃO SISTEMÁTICA

A revisão sistemática da literatura foi desenvolvida por meio do *Methodi Ordinatio*, proposto por Pagani *et al.* (2015) que seleciona e classifica trabalhos científicos de acordo com sua relevância na concepção de um portfólio bibliográfico, considerando três aspectos: fator de impacto, número de citações e ano de publicação. Com essas três variáveis, é possível gerar um índice chamado “InOrdinatio”, que indica a relevância científica dos artigos que compõem o portfólio, permitindo classificá-los. Para estabelecer esse índice, o método é composto por nove etapas a serem seguidas, como mostrado na FIGURA 84.

FIGURA 84 – Etapas do *Methodi Ordinatio*



FONTE: Adaptado de Pagani *et al.* (2015).

As bases de dados eleitas foram *Science Direct*, *Scopus* e *Scielo*, que destacam basicamente artigos científicos publicados em periódicos e eventos científicos da área da pesquisa. A pesquisa foi dividida em 4 eixos com o incremento de palavras sinônimo, considerando as palavras no campo título/resumo/palavras-chave, conforme QUADRO 14.

QUADRO 14 – Eixos da revisão sistemática

Eixos	Campo de pesquisa	Foco
1	<i>TITLE-ABS-KEY ("prisms") AND TITLE-ABS-KEY (masonry) AND TITLE-ABS-KEY ("coating mortar") OR TITLE-ABS-KEY ("rendering mortar")</i>	Prismas de alvenaria com revestimento de argamassas
2	<i>TITLE-ABS-KEY ("prisms") OR TITLE-ABS-KEY ("masonry") AND TITLE-ABS-KEY ("ceramic block" OR "ceramic brick")</i>	Prismas de alvenaria com blocos ou tijolos cerâmicos
3	<i>TITLE-ABS-KEY (masonry) AND TITLE-ABS-KEY ("ceramic block")</i>	Alvenaria de blocos cerâmicos
4	<i>TITLE-ABS-KEY (masonry) AND TITLE-ABS-KEY ("ceramic brick") AND TITLE-ABS-KEY ("walss")</i>	Parede de alvenaria de blocos cerâmicos

FONTE: A autora (2024).

Para o eixo 1, os critérios de seleção (inclusão) foram: artigos de todas as datas pesquisadas, artigos que identificaram prismas de alvenaria com revestimento de argamassa. Para os critérios de inclusão do eixo 2, foi repetido o foco em prismas de alvenaria, porém dando ênfase na constituição com bloco ou tijolos cerâmicos. No eixo 3, foram pesquisados artigos que englobavam a execução de alvenarias de blocos cerâmicos e por fim, o eixo 4, deu ênfase na execução de paredes de alvenaria. Foram adotados três critérios de exclusão de artigos. No 1º processo de exclusão foram desconsiderados os artigos que se apresentaram em duplicidade nos bancos de dados; no 2º processo, artigos de conferências, livros, entre outros; e no 3º processo, artigos que não atenderam ao foco da pesquisa. A TABELA 33 apresenta as quantidades das publicações encontradas em cada base de dados, bem como os resultados da etapa de filtragem. A revisão sistemática foi desenvolvida entre as datas de 23/09/2020 a 01/03/2024, com atualizações ao longo do período. Foi utilizado o software *Mendeley* como gerenciador de referência para a coleta e armazenamento dos dados.

TABELA 33 – Artigos pesquisados divididos por base de dados

Eixo	Nº de artigos retornados pelas bases de dados				Exclusão			Total de artigos selecionados
	Science direct	Scopus	Scielo	Total	1ª (duplicidade)	2ª (conferencias, livros etc.)	3ª (título, abstract)	
1	313	19	21	353	9	30	296	18

2	43	53	2	98	5	17	63	13
3	121	69	12	202	11	34	144	13
4	336	44	0	380	3	111	253	13
Total	813	185	35	1033	28	192	756	57

FONTE: A autora (2024).

É possível observar que dentre as 1003 pesquisas relacionadas, 28 foram excluídas por serem periódicos duplicados (1ª exclusão) e 192 por serem de conferências ou livros (2ª exclusão). Na 3ª exclusão foram descartados 756 artigos que não eram relevantes ao tema, quando foram avaliadas as afinidades do título e do resumo relevantes a pesquisa. Os artigos apresentavam variados temas, como os citados a seguir:

- Simulação;
- Modelagem numérica;
- Situação de situações de incêndio;
- Abalos sísmicos;
- Fabricação/produção de blocos cerâmicos com adições.

Ainda, foram descartados 19 artigos em comum aos 4 eixos. Por meio do procedimento de filtragem realizado, restaram 38 artigos para compor o escopo da pesquisa. Assim, o passo subsequente foi classificar os artigos usando a Equação 3.

$$\text{InOrdinatio} = (IF/1000) + (\alpha * (10 - (RY - PY))) + (Ci) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

IF é o fator de impacto da revista;

α é o coeficiente de relevância do ano da pesquisa;

RY é o ano da pesquisa;

PY é ano da publicação;

Ci é o número de citações.

A pesquisa foi realizada tendo como base o fator de impacto e número de citação, utilizando o gerenciador de referência JabRef, que gerou automaticamente uma lista de artigos com o nome dos autores, título do trabalho, nome da revista, ano de publicação, tipo de publicação e URL. O número de citações foi extraído manualmente por intermédio do Google Scholar. O fator de impacto também foi obtido

manualmente por meio da lista fornecida pelo Scopus. Foi usado o coeficiente (α) de 10, que representa que o ano de publicação do artigo é um fator relevante para a pesquisa (Pagani *et al.*, 2015). A TABELA 34 apresenta a classificação de todos artigos em ordem decrescente de IO, ou seja, ordem de relevância, por eixo da pesquisa, os quais serão discutidos nos próximos itens.

TABELA 34 – Artigos selecionados por eixo de pesquisa

nº	Autoria	Artigo	Ano	IO
Eixo 1				
1	Akhoundi <i>et al.</i>	In-plane behavior of cavity masonry infills and strengthening with textile reinforced mortar	2018	128,01
2	Silveira <i>et al.</i>	Evaluation of in-service performance factors of renders based on in-situ testing techniques	2021	88,01
3	Martins <i>et al.</i>	Experimental assessment of an innovative strengthening material for brick masonry infills	2015	80,01
4	Santos <i>et al.</i>	Numerical and experimental evaluation of masonry prisms by finite element method	2017	68,00
5	Fortes <i>et al.</i>	Compressive strength of masonry constructed with high strength concrete blocks	2017	52,00
6	Camacho <i>et al.</i>	The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behavior	2015	34,00
7	Ismail <i>et al.</i>	In-situ and laboratory based out-of-plane testing of unreinforced clay brick masonry walls strengthened using near surface mounted twisted steel bars	2012	32,01
8	Silva <i>et al.</i>	Numerical analysis of renders' adhesion using an interface model	2013	18,01
9	Flores-Colen <i>et al.</i>	Expected render performance assessment based on impact resistance in situ determination	2009	0,01
10	Silva <i>et al.</i>	Modelo teórico para a previsão da resistência à compressão da alvenaria armada	2011	-20,00
11	Kus <i>et al.</i>	In-use performance assessment of rendered autoclaved aerated concrete walls by long-term moisture monitoring	2004	-48,99
Eixo 2				
12	Zanelato <i>et al.</i>	Evaluation of roughcast on the adhesion mechanisms of mortars on ceramic substrates	2019	109,00
13	Marvila <i>et al.</i>	Correlation between the properties of structural clay blocks obtained by destructive tests and Ultrasonic Pulse Tests	2019	105,01
14	Sathiparan <i>et al.</i>	Effect of moisture condition on mechanical behavior of low strength brick masonry	2018	99,01
15	Padalu <i>et al.</i>	Variation in compressive properties of Indian brick masonry and its assessment using empirical models	2021	87,00

16	Bellei <i>et al.</i>	Influence of brick and concrete substrates on the performance of renders using in-situ testing techniques	2021	85,01
17	Soto Izquierdo <i>et al.</i>	Sisal fiber reinforced hollow concrete blocks for structural applications: Testing and modeling	2017	83,01
18	Caldeira <i>et al.</i>	Influence of joint thickness and strength of mortars on the compressive behavior of prisms made of normal and high-strength concrete blocks	2020	82,01
19	Milani <i>et al.</i>	Case study of prototype and small-scale model behavior of clay blocks masonry under compression	2021	82,00
20	Cerqueira <i>et al.</i>	Analysis of deformability modulus by linear and nonlinear elastic methods in ceramic structural masonry and mortars	2020	73,00
21	Azevedo <i>et al.</i>	Compression behaviour of clay bricks prisms, wallets and walls - Coating influence	2019	69,00
22	Oliveira <i>et al.</i>	Structural performance of unreinforced masonry elements made with concrete and horizontally perforated ceramic blocks – Laboratory tests	2018	64,01
23	Lourenço <i>et al.</i>	Vertically perforated clay brick masonry for loadbearing and non-loadbearing masonry walls	2010	52,01
24	Almeida <i>et al.</i>	Assessment of the properties to characterise the interface between clay brick substrate and strengthening mortar	2016	38,01
Eixo 3				
25	Donadello <i>et al.</i>	Analysis of compressive strength of masonry of ceramic blocks placed with cementitious mortar and polymeric compound	2023	100,00
26	Medeiros <i>et al.</i>	Numerical analysis of masonry walls with horizontal chases using the Lattice Discrete element method (LDEM)	2022	91,01
27	Freire <i>et al.</i>	Improved testing procedures to assess the physical and mechanical properties of ceramic blocks	2021	80,00
28	Socoloski <i>et al.</i>	Evaluation of the efficiency of the treatment for rising damp on walls through the insertion of chemical barriers by gravity	2019	68,01
29	Souza <i>et al.</i>	Reliability analysis applied to structural ceramic blocks	2018	50,00
Eixo 4				
30	Torres <i>et al.</i>	Textile reinforced mortars (TRM) for repairing and retrofitting masonry walls subjected to in-plane cyclic loads. An experimental approach	2021	108,01
31	Garcia-Ramonda <i>et al.</i>	Cyclic shear-compression testing of brick masonry walls repaired and retrofitted with basalt textile reinforced mortar	2022	105,01
32	Baghi, <i>et al.</i>	Behavior of reinforced concrete frame with masonry infill wall subjected to vertical load	2018	92,01
33	Sousa <i>et al.</i>	In-plane cyclic behaviour of RC frames strengthened with composite sandwich panels	2022	90,01
34	Łukasz	Study of impact of bed joint reinforcement on load-carrying capacity and crack resistance of masonry walls made of calcium silicate units	2021	86,01
35	Aguilar <i>et al.</i>	Prediction of the shear strength of reinforced masonry walls using a large experimental database and artificial neural networks	2016	85,00

36	Jonaitis <i>et al.</i>	Experimental Investigation of the Behaviour of Brick Lintels	2017	42,00
37	Cabezas	Mechanical properties of load bearing walls made of uruguayan hollow ceramic bricks	2015	26,00
38	Fathy <i>et al.</i>	A numerical study of masonry cracks	2009	-12,00