

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
ENGENHARIA CIVIL

Ana Carolina Reis Lozovey

MÉTODO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA ESTABILIZADA PARA
ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE
CONCRETO

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, da
Universidade Federal de Santa
Catarina, como parte dos
requisitos para obtenção do
Título de Mestre em Engenharia
Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luiz
Roberto Prudêncio Júnior.

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lozovey, Ana Carolina Reis

Método de Dosagem de Argamassa Estabilizada para Assentamento de Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto / Ana Carolina Reis Lozovey ; orientador, Luiz Roberto Prudêncio Júnior, 2018.

179 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. argamassa estabilizada de assentamento. 3. alvenaria estrutural. 4. bloco de concreto. 5. dosagem. I. Prudêncio Júnior, Luiz Roberto. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

**MÉTODO DE DOSAGEM DE ARGAMASSA ESTABILIZADA
PARA ASSENTAMENTO DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE
BLOCOS DE CONCRETO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 21 de fevereiro de 2018.

Prof. Glicério Trichês, Dr.,
Coordenador PPGEC

Prof. Luiz Roberto Prudêncio Jr,
Dr.
Orientador, UFSC

Banca Examinadora:

Prof. Helena Carasek, Dra., UFG
(Videoconferência)

Prof. Janaíde Cavalcante Rocha,
Dra.,UFSC

Prof. Juliana Machado Casali, Dra,
IFSC

AGRADECIMENTOS

À minha família, minha mãe, Marise, meu pai, Sérgio e meus irmãos, André e Luísa, por serem meu porto seguro e estarem incondicionalmente ao meu lado.

Ao meu namorado Carlos Henrique, pelo bom humor, pela calma e por estar ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus padrinhos, João Carlos e Nádia, que sempre me apoiaram.

Aos meus avós João e Mafalda e Leopoldino (in memoriam) e Eunice.

Ao professor Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr, por acreditar e orientar este trabalho, sempre com plena dedicação, incentivo e paciência. Muito obrigada pela confiança depositada.

Aos professores Dra. Helena Carasek, Dra. Janaíde Cavalcante Rocha e Dra. Juliana Casali por aceitarem o convite para compor a banca examinadora deste trabalho, pelas contribuições na avaliação para este trabalho.

À TODOS os colegas e amigos do GTec, muito obrigada pela ajuda incessante na realização das atividades deste trabalho.

Aos amigos do VALORES pela ajuda, pela parceria e pelas conversas e pela amizade.

À todos os amigos que fiz, pelas conversas, amizade e momentos de descontração, muito obrigada por terem compartilhado este caminho comigo.

À MaxMohr, em especial ao Eng. Msc. Cleiton Coelho, pela parceria de sempre com o GTec, pela colaboração nos trabalhos e pela doação de materiais, que permitiram a realização desta pesquisa.

Aos colegas e amigos da UNIVALI, pelo incentivo na carreira acadêmica e por acreditarem no meu trabalho, me motivando sempre a continuar.

Aos funcionários do LMCC, Luiz, Renato e Roque pelo suporte no decorrer do desenvolvimento do programa experimental. À Mari e à Priscila da secretaria do PPGECC por serem sempre solícitas e estarem dispostas a ajudar.

À UFSC, ao PPGECC (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) e ao CNPq pelo incentivo, e amparo à pesquisa.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de alguma maneira para que este trabalho fosse concluído e para que meu objetivo fosse alcançado.

Muito obrigada!

RESUMO

As argamassas estabilizadas têm uso crescente no Brasil. O estudo dessa argamassa torna-se imprescindível quando empregadas no assentamento em sistemas em alvenarias estruturais, onde as paredes, além de fechamento, exercem função de estrutura. Este trabalho teve como objetivo principal propor uma metodologia de dosagem de argamassa estabilizada de resistências de 4 a 16 MPa para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto de resistências variadas. Foram estudadas argamassas estabilizadas de resistências distintas aos 28 dias e blocos de concreto selecionados com resistências compatíveis a cada uma delas. Com base na revisão da bibliografia e nos resultados obtidos nos estudos piloto em obra e em laboratório, foi definida uma proposta de método de dosagem, para simplificar e sistematizar o trabalho de tecnologistas na obtenção de traços que atendam simultaneamente os requisitos mínimos de propriedades, tanto no estado fresco (consistência, plasticidade, coesão e adesão inicial) quanto endurecido (resistência à compressão, tração na flexão e aderência no substrato) em dois tempos de utilização. Os estudos piloto das argamassas estabilizadas indicaram trabalhabilidade adequada das argamassas quando avaliadas pelos parâmetros do GTec Teste. No ensaio de deformabilidade da junta, as argamassas foram consideradas aceitáveis. Verificou-se que é possível restauração da trabalhabilidade com a adição de água sem prejuízo da resistência de tração na flexão, entretanto a resistência à compressão ficou prejudicada a 28 dias. No estudo em prismas de três fiadas, notou-se que os valores de resistência à compressão dos prismas de blocos de concreto de 4 MPa e 8 MPa atenderam ao esperado. O método de avaliação em mini-prisma possibilitou determinar os valores médios potenciais de resistência de aderência na flexão aos 28 dias. Com os dados obtidos de resistência de aderência na flexão nos prismas de quatro fiadas foi possível correlacionar os valores obtidos de resistência nos prismas com aquelas obtidas nos mini-prismas. Diante dos resultados obtidos no programa experimental, foi construída curva de dosagem de argamassa estabilizada para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto de resistências variadas. Por interpolação, as curvas podem auxiliar a definição dos traços finais para diferentes resistências à compressão de argamassa e diferentes resistências de prismas especificados em projeto.

Palavras-chave: Argamassa estabilizada de assentamento; alvenaria estrutural; bloco de concreto; dosagem.

ABSTRACT

The use of ready mix mortars has been increasing in Brazil. A prior analysis is required to determine the compositions based on the application requirements when employed in the laying of structural masonry systems when the walls perform both structural and closure functions. In this work, we propose a methodology to design 4 to 16 MPa ready mix mortars for the laying of concrete structural masonry blocks of various strengths. I studied mortars of different strengths at 28 days along with selected concrete blocks with compatible strength. Based on the bibliography review, and preliminary studies, both on site and in laboratory, a mix design method is proposed. The method is simple allowing a systematic procedure to obtain compositions that simultaneously fulfill the minimum performance requirements, both in the fresh (consistency, plasticity, cohesion and initial adhesion) and hardened state (compressive strength, bending traction strength and adhesion to the substrate) in stage of usage. The preliminary studies of ready mix mortars indicate good workability when evaluated by the GTec Test parameters. In the joint deformability test, the mortars were considered acceptable. It was verified that it is possible to restore the workability with the addition of water keeping intact its bending traction strength, however, damaging the compressive strength at 28 days. In the study of the compressive strength and modulus of elasticity in three-layers prisms, it was observed that the compressive strength values of the 4 MPa and 8 MPa block prisms were as expected. The mini-prism evaluation method allowed determining the average values of bending adherence strengths at 28 days. With the obtained data of bending adherence strength in the four-layers prisms it was possible to correlate the obtained values of strength of prisms with those obtained in mini-prisms. Considering the results obtained from the experimental program, a ready mix mortar mix design diagram was built for the laying of concrete structural masonry blocks of various strengths. By interpolation, the curves can assist practitioners to define compositions for different compressive strengths of mortar and different strength of prisms specified in the design.

Keywords: ready mix mortar; structural masonry; concrete block; mix design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamento utilizado no GTec Teste.....	43
Figura 2 – Métodos empregados para avaliar a consistência e a plasticidade de argamassas.....	44
Figura 3 – Variação da retenção de água para diferentes argamassas.	46
Figura 4 – Ensaio de retenção de consistência pelo método ABNT NBR 13277 (2005).....	47
Figura 5 – Procedimento para determinação do ar incorporado pelo método do picnômetro: metodologia desenvolvida pelo GTec.	48
Figura 6 – Equação de cálculo do teor de ar incorporado.	49
Figura 7 – Comportamento da alvenaria sob compressão.	54
Figura 8 – Resistências dos blocos, argamassas e prismas, em área líquida, obtidos por Mohamad (1998).....	56
Figura 9 – Relação entre resistências da alvenaria, argamassa e do bloco.	58
Figura 10 – Aparato de ensaio de flexão dos mini-prismas e o ensaio sendo realizado na (a) posição invertida ao do prisma e (b) posição correta de aplicação no prisma.	62
Figura 11 – Curvas granulométricas das areias de origem natural e de britagem. .	69
Figura 12 – Representação esquemática da condição (a) inicial, (b) final do ensaio e (c) foto ilustrativa do final do ensaio com o GTec Teste.....	71
Figura 13 – Etapa1: seleção dos materiais constituintes e estudo piloto para determinação da proporção ideal entre as areias.	79
Figura 14 – Medida da deformabilidade.	81
Figura 15 – Simulação da carga de assentamento como medida da deformabilidade.	82
Figura 16 – Etapa 2: determinação do teor de aditivo incorporador de ar.....	82
Figura 17 – Etapa 3: determinação do teor de aditivo estabilizador de hidratação. 83	
Figura 18 – Etapa 4: estudo da resistência à compressão em prismas, resistência à tração na flexão em mini-prismas, resistência à tração na flexão em prismas e construção da curva de dosagem.	84
Figura 19 – Moldagem dos prismas de 3 fiadas no tempo inicial.	85
Figura 20 – Prismas de 3 fiadas no tempo inicial.	86
Figura 21 – Prismas de 3 fiadas no tempo de utilização (24 horas).	86
Figura 22 – Localização do mini-prisma representado no prisma.	87
Figura 23 – Mini-prismas de concreto: (a) mini-prisma de blocos de 14 MPa e (b) mini-prismas de blocos de 8 MPa.	88
Figura 24 – Configuração do ensaio de tração na flexão em prismas de alvenaria. 89	
Figura 25 – Configuração do ensaio de tração na flexão em prismas de alvenaria. 89	
Figura 26 – Curva de dosagem teórica.	90
Figura 27 – Faces dos blocos de concreto: grossa (superior) e fina (inferior).....	91

Figura 28 – Geometria dos blocos de concreto: face fina (inferior).	92
Figura 29 – Geometria dos blocos de concreto: face grossa (superior).	92
Figura 30 – Curva granulométrica das areias 1 e 2 utilizadas neste trabalho.	95
Figura 31 – Deformabilidade da junta fresca.	98
Figura 32 – Teores de ar incorporado das argamassas do traço 1:4 em função dos teores de aditivo incorporador de ar.	100
Figura 33 – Teores de ar incorporado das argamassas do traço 1:5,5 em função dos teores de aditivo incorporador de ar.	101
Figura 34 – Teores de ar incorporado das argamassas do traço 1:7 em função dos teores de aditivo incorporador de ar.	103
Figura 35 – Valores de resistência à compressão para argamassas do Traço 1:4 com diferentes teores de aditivo estabilizador de hidratação em função do tempo de utilização.	104
Figura 36 – Valores de resistência à compressão para argamassas do Traço 1:5,5 com diferentes teores de aditivo estabilizador de hidratação em função do tempo de utilização.	105
Figura 37 – Valores de resistência à compressão para argamassas do Traço 1:7 com diferentes teores de aditivo estabilizador de hidratação em função do tempo de utilização.	106
Figura 38 – Resistência à compressão das argamassas, blocos e prismas e o fator de eficiência.	108
Figura 39 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 4 MPa no tempo inicial (0h).	109
Figura 40 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 4 MPa no tempo de estabilização (24 horas).	109
Figura 41 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 8 MPa no tempo inicial (0h).	110
Figura 42 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 8 MPa no tempo de estabilização (24 horas).	110
Figura 43 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 14 MPa no tempo inicial (0h).	111
Figura 44 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 14 MPa no tempo de estabilização (24 horas).	111
Figura 45 – Modo de ruptura: (a) esmagamento da junta 4 MPa 24 horas; (b) tração no bloco 14 MPa 24 horas; (c) ruptura do conjunto 8 MPa 24 horas.	112
Figura 46 – Ensaio de tração na flexão de mini-prismas.	113
Figura 47 – Capilaridade de amostras das peças de 4 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.	113
Figura 48 – Valores médios de absorção/área de contato com a lâmina de água das peças de 4 MPa.	114
Figura 49 – Altura de ascensão capilar de peças de 4 MPa aos 60 minutos.	114

Figura 50 – Altura de ascensão capilar em peças de 4 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.	115
Figura 51 – Capilaridade de amostras das peças de 8 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.	115
Figura 52 – Valores médios de absorção/área de contato com a lâmina de água das peças de 8 MPa.....	116
Figura 53 – Altura de ascensão capilar de peças de 8 MPa aos 60 minutos.	116
Figura 54 – Altura de ascensão capilar em peças de 8 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.	117
Figura 55 – Capilaridade de amostras das peças de 14 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.	117
Figura 56 – Valores médios de absorção/área de contato com a lâmina de água das peças de 14 MPa.....	118
Figura 57 – Altura de ascensão capilar de peças de 14 MPa aos 60 minutos.	118
Figura 58 – Altura de ascensão capilar em peças de 14 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.	119
Figura 59 – Altura de ascensão capilar em peças de 14 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.	120
Figura 60 – Resistência de aderência na flexão para os mini-prismas.	120
Figura 61 – Resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 4 MPa: (a) 0h e (b) 24 horas.....	123
Figura 62 – Resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 8 MPa: (a) 0h e (b) 24 horas.....	124
Figura 63 – Resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 14 MPa: (a) 0h e (b) 24 horas.....	126
Figura 64 – Resistência média de aderência na flexão para os prismas de blocos de 4, 8 e 14 MPa nas duas idades de utilização.....	126
Figura 65 – Resistência de aderência na flexão dos prismas e dos mini-prismas para valores médios.	128
Figura 66 – Curva de dosagem para o tempo inicial (0 horas) e o tempo de utilização de 24 horas (caso crítico).	130
Figura 67 – Curva de dosagem para o tempo inicial (0h) e o tempo de utilização de 24 horas (caso crítico).	131
Figura 68 – Curva de dosagem para o tempo inicial (0h) e o tempo de utilização de 24 horas (caso crítico) dos prismas de blocos de concreto.	131
Figura 69 – Resumo das etapas do desenvolvimento da dosagem.	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixas granulométricas para argamassas em alvenaria estrutural.	36
Tabela 2 – Traços recomendados para argamassas de assentamento.	38
Tabela 3 – Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas.	40
Tabela 4 – Resultados dos ensaios em prismas de três fiadas obtidos por Matos, Schankoski e Prudêncio (2014).	57
Tabela 5 – Valores característicos da resistência à tração na flexão.	60
Tabela 6 – Resistência de aderência na flexão em mini-prismas e prisma com relação para as argamassas estudadas.	62
Tabela 7 – Características físicas e químicas do cimento CP IV empregado no estudo piloto.	67
Tabela 8 – Caracterização do agregado miúdo.	67
Tabela 9 – Caracterização da areia natural.	68
Tabela 10 – Distribuição granulométrica da areia de britagem.	69
Tabela 11 - Propriedades físico químicas dos aditivos RHEOMIX® 701 M e RHEOMIX® 702.	70
Tabela 12 – Esquema do estudo piloto.	72
Tabela 13 – Resultados do estudo piloto do Traço 1:4.	73
Tabela 14 – Resultados do estudo piloto do Traço 1:5,5.	74
Tabela 15 – Resultados do estudo piloto do Traço 1:7.	75
Tabela 16 - Resultados da repetição do estudo piloto dos Traços 1:4; 1:5,5 e 1:7 com 0,47% de aditivo incorporador de ar e 0,80% de aditivo estabilizador de hidratação.	76
Tabela 17 – Resultados das argamassas C-2 100% e C-2 50%50% em corpos de prova cilíndricos.	77
Tabela 18 - Resultados das argamassas C-2 100% e C-2 50%50% em corpos de prova prismáticos.	78
Tabela 19 – Caracterização dos blocos de concreto utilizados.	92
Tabela 20 – Características físicas e químicas do cimento CP IV 32 RS empregado.	93
Tabela 21 – Caracterização das areias utilizadas neste trabalho.	94
Tabela 22 – Distribuição granulométrica da areia 1.	94
Tabela 23 – Distribuição granulométrica da areia 2.	95
Tabela 24 – Propriedades físico químicas dos aditivos RHEOMIX® 701 M e RHEOMIX® 702.	96
Tabela 25 – Valores de deformação total da junta.	97
Tabela 26 – Resultados de teor de ar incorporado para o traço 1:4.	99
Tabela 27 – Resultados de teor de ar incorporado para o traço 1:5,5.	100
Tabela 28 – Resultados de teor de ar incorporado para o traço 1:7.	102
Tabela 29 – Resultados dos ensaios dos prismas de três fiadas.	107

Tabela 30 – Resultados da aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 4 MPa.	122
Tabela 31 – Resultados da aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 8 MPa.	124
Tabela 32 – Resultados da aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 14 MPa.	125
Tabela 33 – Relação de aderência dos prismas de quatro fiadas e dos mini-prismas estudados.	127
Tabela 34 – Resultados deformabilidade da junta para o traço 1:4.	145
Tabela 35 – Resultados deformabilidade da junta para o traço 1:5,5.	146
Tabela 36 – Resultados deformabilidade da junta para o traço 1:7.	147
Tabela 37 – Resultados de avaliação do teor 0,40% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:4.	149
Tabela 38 – Resultados de avaliação do teor 0,60% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:4.	150
Tabela 39 – Resultados de avaliação do teor 0,80% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:4.	150
Tabela 40 – Resultados de avaliação do teor 1,00% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:4.	151
Tabela 41 – Resultados de avaliação do teor 0,40% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:5,5.	152
Tabela 42 – Resultados de avaliação do teor 0,60% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:5,5.	153
Tabela 43 – Resultados de avaliação do teor 0,80% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:5,5.	154
Tabela 44 – Resultados de avaliação do teor 1,00% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:5,5.	154
Tabela 45 – Resultados de avaliação do teor 0,40% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:7.	155
Tabela 46 – Resultados de avaliação do teor 0,60% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:7.	156
Tabela 47 – Resultados de avaliação do teor 0,80% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:7.	156
Tabela 48 – Resultados de avaliação do teor 1,00% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:7.	157
Tabela 49 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de prismas de três fiadas para o traço 1:4.	158
Tabela 50 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de prismas de três fiadas para o traço 1:5,5.	158
Tabela 51 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de prismas de três fiadas para o traço 1:7.	159

Tabela 52 – Módulo de elasticidade dos prismas de três fiadas de blocos de 4 MPa.	161
Tabela 53 – Módulo de elasticidade dos prismas de três fiadas de blocos de 8 MPa.	162
Tabela 54 – Módulo de elasticidade dos prismas de três fiadas de blocos de 14 MPa.	163
Tabela 55 – Modo de ruptura dos prismas de três fiadas de blocos de 4 MPa.	163
Tabela 56 – Modo de ruptura dos prismas de três fiadas de blocos de 8 MPa.	164
Tabela 57 – Modo de ruptura dos prismas de três fiadas de blocos de 14 MPa. ..	165
Tabela 58 – Absorção de água para blocos de concreto de 4 MPa e face superior (grossa).....	167
Tabela 59 – Absorção de água para blocos de concreto de 4 MPa e face inferior (fina).....	167
Tabela 60 – Absorção de água para blocos de concreto de 8 MPa e face superior (grossa).....	168
Tabela 61 – Absorção de água para blocos de concreto de 8 MPa e face inferior (fina).....	168
Tabela 62 – Absorção de água para blocos de concreto de 14 MPa e face superior (grossa).....	169
Tabela 63 – Absorção de água para blocos de concreto de 14 MPa e face inferior (fina).....	170
Tabela 64 – Avaliação de aderência mini-prismas.	171
Tabela 65 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de mini-prismas e prismas de quatro fiadas para o traço 1:4.	173
Tabela 66 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de mini-prismas e prismas de quatro fiadas para o traço 1:5,5.....	174
Tabela 67 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de mini-prismas e prismas de quatro fiadas para o traço 1:7.	175
Tabela 68 – Distribuição granulométrica das areias natural e de britagem.	177

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CaO	Óxido de cálcio
Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
CP II	Cimento Portland Composto
CP III	Cimento Portland de Alto-Forno
CP IV	Cimento Portland Pozolânico
CP V ARI	Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial
fbk	Resistência característica à compressão do bloco
GTec	Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland
MgO	Óxido de magnésio
Mg(OH) ₂	Hidróxido de magnésio
NBR	Norma Brasileira Registrada
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	23
1.1. OBJETIVOS	25
1.1.1. Objetivo Geral	25
1.1.2. Objetivos Específicos	25
2. ALVENARIA ESTRUTURAL.....	27
2.1. MATERIAIS E COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL..	27
2.1.1. Bloco de concreto	29
2.1.2. Argamassa de assentamento	30
3. ARGAMASSA ESTABILIZADA	33
3.1. MATERIAIS CONSTITUINTES	33
3.1.1. Cimento	34
3.1.2. Cal.....	34
3.1.3. Agregado miúdo (areia).....	35
3.1.4. Aditivos	36
3.1.5. Água.....	37
3.1.6. Proporcionamento dos materiais.....	38
3.2. PROPRIEDADES E ENSAIOS NO ESTADO FRESCO	39
3.2.1. Consistência, plasticidade e coesão	40
3.2.2. Retenção de água	45
3.2.3. Teor de ar incorporado.....	47
3.2.4. Adesão inicial	49
3.2.5. Deformabilidade da junta fresca	50
3.3. PROPRIEDADES E ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO.....	51
3.3.1. Resistência à compressão.....	51
3.3.2. Aderência.....	52
3.3.3. Módulo de elasticidade	52
3.4. PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO	53
3.4.1. Resistência à compressão e medida de deformação	55
3.4.2. Aderência	59
4. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	65
4.1. ESTUDO PILOTO EM OBRA.....	65
4.2. ESTUDO PILOTO EM LABORATÓRIO	66
4.2.1. Materiais	66
4.2.1.2. Agregado miúdo	67
4.2.1.3. Aditivos	69
4.2.1.4. Água.....	70
4.2.2. Métodos	70
4.3. METODOLOGIA DE DOSAGEM	78

4.3.2.	Materiais	91
4.3.2.2.	Cimento	93
4.3.2.3.	Agregado miúdo	93
4.3.2.4.	Aditivos	95
4.3.2.5.	Água.....	96
5.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	97
5.1.	Estudo piloto para determinação da proporção ideal entre as areias (etapa b)	97
5.2.	Determinação do teor ideal de aditivo incorporador de ar (etapa c).....	99
5.3.	Determinação do teor ideal de aditivo estabilizador de hidratação (etapa d)	103
5.4.	Estudo da resistência à compressão em prismas (etapa e).....	107
5.5.	Estudo da resistência à tração na flexão em mini-prismas (etapa f).....	112
5.5.1.	Amostras para mini-prismas (peças ou fatias)	112
5.5.1.1.	Peças seccionadas dos blocos de 4 MPa	113
5.5.1.2.	Peças seccionadas dos blocos de 8 MPa	115
5.5.1.3.	Peças seccionadas dos blocos de 14 MPa	117
5.5.1.4.	Comparação entre as fatias seccionadas dos blocos de 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa	119
5.5.2.	Aderência nos mini-prismas de blocos de 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa. .	120
5.6.	Estudo da resistência à tração na flexão em prismas (etapa g).....	121
5.7.	Correlação entre os valores obtidos de resistência de aderência de prismas e mini-prismas	127
5.8.	Construção da curva de dosagem (etapa h)	130
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	133
6.1.	Conclusões	133
6.2.	Sugestões para trabalhos futuros	136
7.	REFERÊNCIAS	139

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo racionalizado, onde as alvenarias exercem função de estrutura. As paredes são compostas por unidades (blocos ou tijolos), que podem ser sílico-calcários, cerâmicos, de concretos, argamassas de assentamento e grautes que preenchem os vazios dos blocos aumentando a capacidade de resistência à compressão da alvenaria.

No Brasil, há uma preferência pelo uso dos blocos de concreto, uma vez que fábricas desse tipo de unidade estão disponíveis em praticamente todo o território nacional e possuem os maiores fatores de eficiência, razão entre resistência do prisma (corpo de prova composto por blocos, normalmente com duas a três fiadas mais argamassa) e resistência do bloco (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

As argamassas de assentamento fazem a ligação entre os blocos e são constituídas por aglomerante, agregado miúdo (areia), água e aditivos em proporções bem definidas (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Em alvenaria estrutural, as argamassas de assentamento devem proporcionar a formação de um conjunto monolítico, que deve atender às exigências estruturais e desempenho das edificações.

A industrialização das argamassas surgiu para propiciar maior padronização e rapidez no processo construtivo, reduzindo perdas e proporcionando maiores produtividades, limpeza e organização em obra (SILVA, 2007). Os erros de dosagem das argamassas são minimizados pela produção ser em fábrica e não no canteiro de obras. A argamassa estabilizada, produzida em centrais com o uso de aditivos estabilizadores de hidratação, tem uso crescente no Brasil e vai ao encontro às necessidades do sistema em alvenaria estrutural.

Os materiais constituintes das argamassas de assentamento geralmente são: cimento, cal, agregado miúdo (areia), aditivos e água. A argamassa estabilizada possui composição semelhante às argamassas convencionais, produzidas no canteiro de obras, porém nessas argamassas geralmente não há presença da cal em sua composição e o uso de aditivos incorporadores de ar e aditivos estabilizadores de hidratação é frequente. A armazenagem dessas argamassas estabilizadas pode ser feita em recipientes instalados em obra por períodos de até três dias, em função do teor de aditivo estabilizador de hidratação, mantendo-se as características necessárias ao uso.

No estado fresco, propriedades como a consistência (facilidade de escoamento do material), a plasticidade (deformação da argamassa após alívio

de cargas) e a coesão (propriedade das argamassas manterem seus materiais constituintes homogêneos), juntamente com a retenção de água (capacidade da argamassa de manter a trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água) e o teor de ar incorporado (que aumenta o volume da pasta e aumenta a coesão e reduz a exsudação) definem a eficiência de uma argamassa para alvenaria.

No estado endurecido, a aderência (geralmente medida por ensaio de resistência de tração na flexão de prismas de alvenaria) depende do tipo de interação entre argamassa de assentamento e blocos de concreto. O módulo de elasticidade é propriedade fundamental das argamassas, onde a argamassa de assentamento deve acomodar as deformações das alvenarias sem causar fissuras. As argamassas também devem permitir o assentamento de várias fiadas no mesmo dia e desenvolver resistência à compressão adequada ao longo do tempo, distribuindo as cargas nas unidades de alvenaria.

Além disso, o mecanismo de ruptura da alvenaria quando submetida a esforços de compressão é fundamental ao entendimento do comportamento estrutural do sistema em alvenaria estrutural. Os fatores de projeto (como geometria dos blocos e das paredes), fatores de produção dos componentes (como os materiais constituintes, proporcionamento dos materiais, grau de compactação e método de cura), fatores de execução (como técnica de execução e mão de obra) e fatores de determinação (como características e procedimentos de ensaios) interferem na resistência da alvenaria estrutural. As diferenças no mecanismo de ruptura e na resistência final da alvenaria (bloco de concreto mais argamassa de assentamento) podem justificar a variação no fator de eficiência.

Esta pesquisa visa contribuir aos estudos de argamassas estabilizadas, tornando-as alternativas viáveis ao assentamento de blocos de concreto de resistências variadas, de 4 a 16 MPa, em sistemas em alvenaria estrutural. O estudo inclui a influência das propriedades, tanto no estado fresco quanto endurecido, no comportamento mecânico dos prismas de blocos de concreto quanto à resistência à compressão, módulo de elasticidade e aderência argamassa-bloco (tração na flexão).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral propor um método de dosagem de argamassa estabilizada de resistências de 4 a 16 MPa para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto.

1.1.2. Objetivos Específicos

a) Determinar as propriedades das argamassas estabilizadas no estado fresco (consistência, plasticidade e coesão, e teor de ar incorporado) e no estado endurecido (resistência à compressão e tração na flexão, módulo de elasticidade);

b) Determinar o teor adequado do aditivo estabilizador de hidratação em função do tempo de utilização da argamassa na obra, sem prejudicar o seu desempenho, bem como o teor de ar incorporado ideal para a sua aplicação;

c) Estudar a influência da redosagem de água, geralmente utilizada no ajuste da consistência, nas demais propriedades no estado fresco e endurecido acima mencionadas, bem como no desempenho das alvenarias à compressão e aderência;

2. ALVENARIA ESTRUTURAL

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo em que as paredes além de fechamento, exercem uma função estrutural. Essa alvenaria é composta por blocos, que podem ser sílico-calcários, cerâmicos, de concreto, argamassas de assentamento, grautes e juntas de argamassa resistentes. Esse sistema possui vantagens na racionalização das etapas construtivas quando comparada aos métodos tradicionais de estrutura convencional em concreto armado e estruturas em aço (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

A flexibilidade no planejamento das etapas de execução das obras torna a alvenaria estrutural competitiva no Brasil. As técnicas construtivas da alvenaria estrutural são simplificadas e existe uma facilidade do controle das etapas de construção, proporcionada tanto pelas técnicas simplificadas no processo de execução quanto pelo planejamento destas etapas. A compatibilização entre projetos elimina interferências em obra, reduzindo significativamente o desperdício de materiais (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010).

A execução das paredes estruturais exige materiais adequados, cuidados específicos com projetos, mão de obra e controle de qualidade (MEDEIROS e SABBATINI, 1993). Segundo Mohamad, Roman, Rizzatti, Romagna (2010), embora a alvenaria estrutural seja muito utilizada desde a antiguidade, a introdução de novos materiais propicia avanços e constantes transformações até hoje. Sendo assim, o estudo dos materiais componentes da alvenaria estrutural torna-se indispensável para garantir a qualidade requerida por este sistema.

2.1. MATERIAIS E COMPONENTES DA ALVENARIA ESTRUTURAL

As paredes em alvenaria estrutural são compostas pela união de diferentes materiais, como: blocos (que podem ser sílico-calcários, cerâmicos ou de concreto), argamassas de assentamento e graute, como mencionado anteriormente. Neste trabalho será apresentado um resumo das características e propriedades destes materiais constituintes.

Os blocos sílico-calcário são compostos por areia quartzosa e cal, que resultam em um material pouco poroso e com bom acabamento superficial. A produção dos blocos sílico-calcário acontece através de prensagem e cura por vapor a alta pressão em autoclave (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010). O uso destes blocos não é tão comum nas obras em

alvenaria estrutural, pois a sua produção está concentrada em poucas regiões do Brasil.

Os blocos cerâmicos têm a função de suportar as cargas previstas e sua resistência à compressão deve ser compatível com as exigências de projeto. (KAZMIERCZAK, 2010). Apesar de o bloco cerâmico ter potencial para apresentar resistências à compressão que podem chegar a 16 MPa, apresentam fatores de eficiência (razão entre a resistência à compressão do prisma e do bloco) normalmente abaixo de 50%, quando ensaiado em prismas de três fiadas, enquanto que os blocos de concreto podem chegar a 90% (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

Os blocos de concreto apresentam resistências à compressão que variam de 4,5 MPa a 20 MPa, ganho de resistência conseguido pelo aumento do teor de cimento, compactação e baixa relação água/cimento (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010).

Os blocos de concreto são as unidades de alvenaria estrutural mais comumente empregadas no Brasil e são as utilizadas nesta pesquisa. A seguir, são apresentadas as características fundamentais dos blocos de concreto, empregados nesta pesquisa, das argamassas de assentamento e requisitos de desempenho.

A argamassa de assentamento é definida como elemento utilizado na ligação entre os blocos, garantindo a distribuição uniforme dos esforços. É composta por material aglomerante, agregado miúdo (com módulo de finura médio geralmente de 1,2 a 2,2) e água com presença de aditivos, podendo ser incorporadores de ar, retentores de água, estabilizadores de hidratação, plastificantes e superplastificantes. Serão explanados mais detalhes em 2.1.2.

O graute para alvenaria é composto por uma mistura de cimento, agregado miúdo (areia grossa), agregado graúdo passante na peneira 12,5 mm, (pedriscos), e relação água/ cimento entre 0,5 e 0,6. O graute confere aumento da resistência à compressão da parede, preenchendo possíveis cavidades e auxiliando em reforços específicos caso haja necessidade (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010).

A alvenaria estrutural é classificada como: não armada, armada e parcialmente armada. A alvenaria não armada é constituída de blocos assentados com argamassa podendo conter armaduras apenas com finalidade construtiva ou de amarração. Na alvenaria estrutural armada, as paredes são constituídas de blocos assentados com argamassa, as cavidades são preenchidas continuamente com graute que envolve uma quantidade suficiente de armaduras dimensionadas para absorver esforços. Em alvenaria parcialmente armada, algumas paredes são construídas segundo as

recomendações da alvenaria armada e outras de acordo com as alvenarias não armadas (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

2.1.1. Bloco de concreto

O bloco de concreto é componente fundamental da alvenaria estrutural. Ele é definido por Medeiros e Sabbatini (1993) como unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea de cimento Portland, agregado miúdo e agregado graúdo, conformada por meio de vibração e prensagem, possuindo dimensões superiores a 250 mm de comprimento x 120 mm de altura x 55 mm de largura. Mohamad, Roman, Rizzatti, Romagna (2010) definem os blocos de concreto estruturais como unidades vazadas com resistências de 4,5 MPa a 20 MPa.

A ABNT NBR 6136 (2014) apresenta a definição como elemento de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta, sendo que a área bruta é a área da seção perpendicular aos eixos dos furos, sem desconto das áreas dos vazios, e a área líquida, a área média da seção perpendicular aos eixos dos furos descontadas as áreas máximas dos vazios. A norma americana ASTM C 90 (2014) define o bloco de concreto como unidade obtida a partir da mistura de cimento Portland, água e agregados naturais, com ou sem adição de outros materiais. A ABNT NBR 12118 (2011) prescreve as metodologias de ensaios de caracterização dos blocos de concreto em relação a: geometria, resistência à compressão, área bruta e área líquida.

As características do bloco de concreto dependem fundamentalmente da natureza dos materiais constituintes, da umidade na moldagem, proporcionamento dos materiais, graus de compactação e cura (MEDEIROS; SABBATINI, 1993).

A alvenaria estrutural não armada pode suportar cargas verticais elevadas, que são basicamente o peso próprio da edificação e cargas acidentais (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003). Desta forma, a base de projetos em alvenaria estrutural se assenta no princípio de que a alvenaria pode suportar grandes tensões de compressão, mas pequenas tensões de tração (SCHANKOSKI, 2012). A determinação da resistência à compressão e o mecanismo de ruptura são fundamentais para entendimento do comportamento estrutural da parede de alvenaria (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

Blocos de concreto mais densos possuem menor quantidade de vazios e menor taxa de absorção de água. A ABNT NBR 6136 (2014) recomenda absorção de água inferior a 10%, enquanto que a norma americana ASTM C 90 (2014) indica índice de absorção de acordo com a densidade do bloco. De

acordo com Casali (2008), tanto a porosidade do material, quanto a distribuição dos tamanhos e interconexão dos poros, influenciam na capacidade de absorção de água do bloco de concreto.

Associada à perda de umidade para o meio ambiente, a retração por secagem é uma das principais causas de fissuração, pois sua ocorrência pode afetar a durabilidade do concreto do bloco (DINIZ, FERNANDES, KUPERMAN, 2011). Desta forma, a ABNT NBR 6136 (2014) especifica que os índices de retração por secagem sejam inferiores a 0,065%. As solicitações de retração por secagem podem ser desprezadas em blocos de concreto que obedeçam a estes índices (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010).

De acordo com Mohamad, Roman, Rizzatti, Romagna (2010), o bloco de concreto para alvenaria estrutural deve apresentar aspecto homogêneo, compacto, com arestas vivas e livre de imperfeições, como trincas, que prejudiquem o assentamento dos blocos, e as características mecânicas e de durabilidade dos blocos e da edificação.

2.1.2. Argamassa de assentamento

A argamassa de assentamento, empregada para elevação das paredes, tem como funções unir as unidades de alvenaria formando um sistema monolítico, distribuir uniformemente as cargas na parede, selar as juntas contra a penetração de água da chuva e absorver deformações naturais de origem térmica e retração por secagem (CARASEK, 2010).

Para que a argamassa de assentamento desempenhe suas funções, deve ter trabalhabilidade para produção de alvenarias com rendimento otimizado em obra, capacidade de retenção de água de forma que elevada sucção do bloco não interfira nas demais funções, adquirir resistência suficiente para receber várias fiadas em um mesmo dia e sem ser mais resistente que o bloco, ter aderência adequada aos blocos, ser durável e não afetar a durabilidade dos demais materiais, e ter baixo módulo de deformação podendo acompanhar deformações da parede sem fissurar (SABBATINI, 1986).

Geralmente não são necessárias resistências altas das argamassas de assentamento para garantir o bom desempenho das paredes, porque a argamassa exerce pouca influência na resistência à compressão da alvenaria. As argamassas com elevadas resistências geralmente possuem elevado teor de cimento e baixa capacidade de absorver as deformações fundamentais para que se deformem com a parede, sem apresentar fissuras (CARASEK, 2010). De acordo com Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), o módulo de elasticidade da

argamassa não aumenta na mesma proporção que a sua resistência à compressão, fazendo com que o estado de tensões da unidade, que geralmente causa o colapso da alvenaria sob compressão, mantenha-se quase inalterado.

Tipos de argamassas

As argamassas para assentamento podem ser classificadas em argamassas de cal, argamassas de cimento, argamassas mistas de cimento e cal e argamassas industrializadas, de acordo com os materiais constituintes.

A argamassa de cal é tradicional da alvenaria convencional, sendo constituída pela mistura de areia, cal e água. A pasta de cal preenche os vazios entre os grãos de areia, proporcionando trabalhabilidade e retenção de água otimizada quando comparada com outros tipos de argamassas (SABBATINI, 1986). Segundo Mohamad, Roman, Rizzatti, Romagna (2010), em função da ausência do cimento Portland, a argamassa de cal atinge lentamente resistências à compressão inferiores a 2 MPa. Além disso, o endurecimento ocorre devido à carbonatação da cal, formando o carbonato de cálcio (CaCO_3).

A argamassa de cimento é uma mistura de cimento Portland, areia e água, e atinge elevadas resistências com rapidez. Segundo Sabbatini (1986), este tipo de argamassa tem uso restrito em alvenaria estrutural pois misturas pobres não possuem trabalhabilidade requerida e misturas normais são antieconômicas e podem facilitar o aparecimento de fissuras.

As argamassas mistas são constituídas por cimento, cal, areia e água e, quando bem dosadas, apresentam combinação das vantagens das argamassas de cal e das argamassas de cimento. O ganho de resistência à compressão em idades iniciais é garantido pela presença do cimento, e a trabalhabilidade da mistura pela presença da cal, que aumenta a deformabilidade da argamassa (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010). Embora recomendadas para o uso em alvenaria estrutural, argamassas mistas tradicionais possuem dificuldade de produção e estocagem dos materiais constituintes.

De acordo com Silva (2007), a industrialização da argamassa surgiu para propiciar maior padronização e rapidez no processo construtivo, reduzindo perdas e proporcionando maiores produtividade e limpeza e organização em obra.

Em argamassas industrializadas normalmente se substitui a cal por aditivos plastificantes ou incorporadores de ar, que tornam a argamassa trabalhável e com retenção de água (SABBATINI, 1986). O aditivo incorporador de ar forma microbolhas de ar, homogeneamente distribuídas na

argamassa, e conferem melhor trabalhabilidade e redução do consumo de água de amassamento que pode minimizar o aparecimento de possíveis fissuras (CARASEK, 2010). Normalmente são produzidas sem a água de amassamento (adicionada posteriormente em obra em quantidades pré-estabelecidas) e comercializadas em sacos ou a granel.

A argamassa estabilizada é dosada em central. Pronta para aplicação (úmida), pode ser armazenada em recipientes instalados em obra por períodos de até três dias, em função do teor de aditivo estabilizador de hidratação, mantendo-se as características e uso. Possui vantagens como controle de qualidade, redução de desperdício em obra, rapidez de execução, limpeza do canteiro.

A seguir, no item 3, serão apresentadas as características das argamassas estabilizadas objeto deste trabalho.

3. ARGAMASSA ESTABILIZADA

A argamassa estabilizada é uma argamassa dosada em central, misturada e transportada por caminhões betoneira e armazenada em recipientes instalados em obra. Com produção industrializada, a argamassa estabilizada vai ao encontro à racionalização de sistemas em alvenaria estrutural.

As argamassas estabilizadas têm uso crescente no Brasil. São comercializadas a granel e, como a dosagem é realizada em centrais dosadoras e não no canteiro de obras, o risco de erros de dosagem é minimizado. Entretanto, normalmente esse tipo de argamassa possui aditivos incorporadores de ar, que podem apresentar resistências e trabalhabilidade variando conforme o tipo de misturador e o tempo de mistura, mesmo quando utilizada quantidade de água recomendada pelo fabricante.

Em sistemas em alvenaria estrutural, as argamassas estabilizadas de assentamento dos blocos de concreto formam um conjunto monolítico, que deve atender às exigências estruturais. De acordo com Matos, Schankoski, Prudêncio (2014), caso a argamassa empregada não atenda aos requisitos necessários para gerar paredes com a qualidade estrutural exigida, como resistências mecânicas inadequadas ou baixa durabilidade, poderá apresentar anomalias futuras.

O estudo dessa argamassa torna-se imprescindível quando empregadas no assentamento em sistemas em alvenarias estruturais, onde as paredes além de fechamento exercem função de estrutura.

3.1. MATERIAIS CONSTITUINTES

Os materiais constituintes das argamassas de assentamento geralmente são: cimento Portland, cal, agregado miúdo (areia com módulo de finura médio, de 1,0 a 2,9), aditivos e água. Neste trabalho, é apresentado um resumo dos materiais constituintes das argamassas, que conferem as características das argamassas estabilizadas nos estados fresco e endurecido, de forma a desempenharem as funções de assentamento dos blocos de concreto.

As argamassas estabilizadas apresentam composição semelhante às argamassas convencionais, mas geralmente sem cal e com presença de aditivos incorporadores de ar e estabilizadores de hidratação.

3.1.1. Cimento

Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003) e Mohamad, Roman, Rizzatti, Romagna (2010) citam em seus estudos que, em geral, se utiliza cimento Portland CP II (Cimento Portland Composto), mas podem ser usados outros tipos de cimentos, tais como o CP IV (Cimento Portland Pozolânico) e o CP III (Cimento Portland de Alto-Forno). As principais vantagens dos cimentos Portland Pozolânico e o Alto-forno estão ligadas às maiores estabilidade, durabilidade e impermeabilidade, conferindo maiores resistências à compressão em idades mais avançadas, resistência à tração e à flexão e uma melhor ou igual durabilidade (BATTAGIN, 2011).

O uso de cimentos Portland com elevada finura, como o CP V ARI (Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial) melhora a resistência de aderência de uma argamassa, apesar de levarem mais facilmente a argamassa à retração e à fissuração do que outros tipos de cimento (CARASEK, 2007).

Em relação as suas propriedades no estado fresco, o aumento da proporção de cimento da argamassa acarreta menor tempo de endurecimento e aumento da retração na secagem e coesão. No estado endurecido, acontece o aumento da resistência à compressão e da aderência superficial e a diminuição na capacidade de acomodar as deformações (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010).

3.1.2. Cal

A cal é um ligante inorgânico, produzido a partir de rochas carbonáticas, composto basicamente por óxidos ou hidróxidos de cálcio e magnésio na forma de um pó muito fino (CINCOTTO, QUARCIONI, JOHN, 2010).

A ABNT NBR 11172 (1990) define cal como um ligante inorgânico ou mineral com constituintes minerais que, para sua aplicação, apresenta-se sob forma pulverulenta; em mistura com a água, forma uma pasta com propriedade ligante e, após endurecimento, não resiste satisfatoriamente quando submetida à ação da água.

Existem tipos de cal, como cal virgem e cal hidratada. A cal virgem é constituída predominantemente de óxidos de cálcio (CaO) e magnésio (MgO). A cal hidratada, de uso mais comum na construção civil, é constituída de hidróxidos de cálcio (Ca(OH)₂) e de magnésio (Mg(OH)₂), além de uma pequena porção de óxidos não hidratados (CINCOTTO, QUARCIONI, JOHN, 2010).

A cal hidratada é utilizada no preparo de argamassa de assentamento com teores de componentes ativos acima de 88% (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010). Em argamassas de assentamento, usualmente utiliza-se a cal hidratada podendo também ser utilizadas cales extintas em obra ou em centrais (argamassas intermediárias) (CARASEK, 2007).

A presença da cal hidratada em argamassas possibilita, no estado fresco, um aumento na trabalhabilidade, retenção de água e coesão, gerando também diminuição na retração na secagem. No estado endurecido, o aumento na proporção de cal provoca um aumento na aderência superficial, na capacidade de deformação e da resistência com o tempo (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010).

3.1.3. Agregado miúdo (areia)

O agregado miúdo é aquele cujos grãos passantes pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,075mm em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248 (2003) com peneiras de acordo com a ABNT NBR ISO 3310-1 de 2010 (NETO, 2011). Um agregado miúdo adequado deve passar integralmente na peneira de abertura de malha 1,2mm, não ter mais que 10% de material pulverulento, e ter granulometria bem distribuída entre as malhas intermediárias (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

A areia que apresenta melhor potencial de produzir uma argamassa adequada para assentamento é a que apresente granulometria contínua, módulo de finura médio, de 1,8 a 2,8, e que tenha predominância de grãos arredondados (SABBATINI, 1986). A ABNT NBR 7217 (1987) prescreve a determinação da composição granulométrica dos agregados. A tabela 1, recomendada por Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), apresenta faixas granulométricas das areias para argamassas de assentamento em alvenaria estrutural segundo normas britânica e americana.

Tabela 1 – Faixas granulométricas para argamassas em alvenaria estrutural.

Peneira – abertura nominal (mm)	Porcentagem (em massa) do material passante nas peneiras	
	BS-1200	ASTM C-144
4,8	100	100
2,4	90-100	95-100
1,2	70-100	70-100
0,6	40-80	40-75
0,3	5-40	10-35
0,15	0-10	2-15

FONTE: Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003).

3.1.4. Aditivos

Os aditivos são substâncias adicionadas em pequena quantidade, em geral até 5% da massa de cimento, durante o processo de mistura que modificam algumas propriedades de concretos, argamassas, pastas e grautes (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003). A ABNT NBR 11768 (2011) descreve os métodos para ensaios químicos a serem empregados.

Os aditivos são classificados de acordo com a sua função. Os aditivos abordados neste trabalho são os mais utilizados em argamassas estabilizadas de assentamento: incorporador de ar e estabilizador de hidratação.

Incorporador de ar

De acordo com a ABNT NBR 11768 (2011), os aditivos incorporadores de ar são usados intencionalmente para introduzir, em argamassas e concretos, um sistema de bolhas de ar microscópico estável e uniforme. Em argamassas, são utilizados para melhorar sua trabalhabilidade. O aditivo incorporador de ar é um tensoativo ou surfactante, composto essencialmente de moléculas orgânicas de cadeia longa, com uma extremidade hidrofílica, que atrai a água, e outra hidrofóbica, que repele a água (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Quando adicionados nas argamassas e nos concretos durante o processo de mistura, os agentes tensoativos ou surfactantes se concentram na interface ar-água e reduzem a tensão superficial, promovendo a formação e estabilização de bolhas de ar microscópicas. A porção hidrofóbica é atraída para o ar na bolha, ao passo que a extremidade hidrofílica é orientada em direção à água. Com a concentração dos agentes incorporadores de ar na interface ar-água, há a formação de um filme que repele água com resistência e elasticidade

suficientes para conter e estabilizar as bolhas de ar (HARTMANN, JEKNAVORIAN, SILVA, BENINI, 2011).

De acordo com Mehta e Monteiro (2014), os surfactantes incorporadores de ar tornam as partículas de cimento hidrofóbicas. Desta forma, uma dosagem excessiva do aditivo pode causar um retardamento excessivo na hidratação do cimento. E, dependendo da quantidade de incorporação de ar, pode ocorrer redução de resistência. A presença de incorporadores de ar reduz a resistência mecânica, a aderência da argamassa ao substrato e extensão da aderência (CARASEK, 2007).

Estabilizador de hidratação: modificador/retardador de pega

Segundo a ABNT NBR 11768 (2011), os aditivos modificadores de pega são classificados em aceleradores, retardadores e de controle ou estabilização de hidratação. O aditivo estabilizador de hidratação é um tipo diferente de retardador, que controla a hidratação do cimento Portland (HARTMANN, JEKNAVORIAN, SILVA, BENINI, 2011).

As reações iniciais dos componentes do cimento Portland com a água ocorrem com os compostos anidros que se ionizam e então os produtos de hidratação se formam. Os produtos de hidratação se cristalizam e os fenômenos de enrijecimento, pega e endurecimento nas pastas de cimento Portland estão diretamente relacionados aos distintos estágios do processo de cristalização. A ação das substâncias químicas reguladoras de pega no cimento Portland pode ser atribuída principalmente à dissolução de constituintes anidros em vez da cristalização dos hidratos (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

Pode-se assumir que, pela adição de determinadas substâncias solúveis ao sistema cimento Portland-água, pode-se influenciar a taxa de formação dos produtos de hidratação, afetando características de pega e endurecimento da pasta de cimento (MEHTA e MONTEIRO, 2014).

3.1.5. Água

Atualmente não existe uma norma brasileira que trate de requisitos para água a ser usada para amassamento de argamassas. A ABNT NBR 15900, que trata da água para amassamento do concreto, pode ser aplicada a argamassas. Esta norma traz os limites e indica os procedimentos de amostragem e análises que devem ser feitas para a determinação de algumas substâncias que podem ser prejudiciais a misturas contendo cimento Portland tais como: zinco, chumbo, nitratos, cloretos, sulfatos, fosfatos, álcalis e açúcares.

3.1.6. Proporcionamento dos materiais

Muitos esforços vêm sendo empreendidos por pesquisadores para suprir a necessidade de uma metodologia nacional para dosagem de argamassas. Por este motivo, ainda é comum o emprego de traços pré-fixados baseados em documentos elaborados por instituições técnicas para o preparo de argamassas de assentamento em obra (CARASEK, 2010).

A ASTM C 270 (1987) preconiza que as argamassas de assentamento para alvenaria estrutural devem atender as especificações da ASTM C 91(1916), que as classifica em: M, S, N e O.

A argamassa do tipo “M” é de alta resistência à compressão recomendada para alvenaria armadas e não armadas sujeitas a valores altos de compressão. A argamassa do tipo “S” é recomendada para estruturas sujeitas a cargas de compressão, mas que precisam atender a flexão provocada por cargas laterais. A argamassa do tipo “N” é de uso geral, com boa relação entre resistência à compressão e flexão, trabalhabilidade e economia, e empregada para assentamento de alvenarias. A argamassa do tipo “O” possui baixa resistência à compressão e é recomendada para áreas internas não sujeitas à umidade e utilizada em edificações de um ou dois pavimentos.

Os tipos de argamassas são identificados pela proporção ou propriedade requerida. A tabela 2, indicada por PANARESE, KOSMATKA, RANDALL (1991) mostra as especificações para as argamassas para alvenaria estrutural.

Tabela 2 – Traços recomendados para argamassas de assentamento.

Tipo de argamassa	Traço em volume		
	Cimento	Cal	Areia
M	1	0,25	1,75 – 2,28
S	1	0,25-0,50	Maior que 2,25 e menor que 3 vezes a soma dos volumes de aglomerantes
N	1	0,50-1,25	
O	1	1,25-2,25	

FONTE: PANARESE, KOSMATKA, RANDALL (1991).

Para assentamento de blocos de concreto de 6 MPa, o traço mais comumente utilizado é de 1:1:5 (cimento:cal:areia seca em volume), e tem sido empregado corriqueiramente em obras de alvenaria estrutural de blocos de concreto e em pesquisas no Brasil (CASALI, 2008). A autora utilizou o traço descrito como traço base de referência, definindo uma relação água/cimento para manter a adequada trabalhabilidade da argamassa por meio de um estudo piloto. Os teores iniciais de aditivos utilizados pela autora seguem recomendação dos fabricantes. O procedimento de mistura foi o descrito pela ABNT NBR 13276 (2005).

3.2. PROPRIEDADES E ENSAIOS NO ESTADO FRESCO

De maneira geral, as propriedades das argamassas variam de acordo com a proporção e com as características dos materiais constituintes e processo produtivo (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

O assentador define se uma argamassa é trabalhável, baseando-se no tipo de ferramenta utilizada e em critérios subjetivos. Desta forma, pode-se afirmar que todas as propriedades desejáveis no estado fresco de uma argamassa se subordinam à trabalhabilidade, e influem diretamente na qualidade do serviço do pedreiro (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003). Apesar de o pedreiro reconhecer a trabalhabilidade de uma argamassa ao manuseá-la com sua colher, em laboratório a avaliação é pessoal (SABBATINI, 1986).

Para Da Mata (2006), uma argamassa deve ser fácil de manusear e de espalhar sobre a superfície da unidade de alvenaria e manter a consistência durante um intervalo de tempo que permita assentamento de algumas unidades consecutivamente.

Os conceitos de consistência e trabalhabilidade surgem da necessidade que sejam explicitadas as características desejáveis para argamassas durante as etapas de mistura, transporte, lançamento a acabamento. A consistência está relacionada com a facilidade de escoamento do material (ROMANO, CARDOSO, PILLEGGI, 2011).

Para Carasek (2010), a trabalhabilidade é uma propriedade complexa, resultante da conjunção de outras propriedades, como: consistência, plasticidade, retenção de água e de consistência, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial. Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003) destacam a consistência, a plasticidade e a coesão, que dependem basicamente do tipo e do teor de aglomerante empregado, da granulometria e forma dos grãos do agregado e da quantidade de água utilizada na mistura.

A tabela 3 abaixo mostra algumas propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas.

Tabela 3 – Propriedades relacionadas com a trabalhabilidade das argamassas.

Propriedades	Definições
Consistência	Facilidade da argamassa se deformar sob ação de cargas
Plasticidade	Manutenção da deformação da argamassa mesmo após alívio de cargas
Retenção de água e de consistência	Capacidade da argamassa fresca manter a trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam a perda de água
Coesão	Atração entre partículas sólidas da argamassa e ligações químicas da pasta aglomerante
Exsudação	Tendência de separação da água da pasta da argamassa
Densidade de massa	Relação entre a massa e o volume de material
Adesão inicial	União inicial da argamassa no estado fresco ao substrato

FONTE: Carasek (2010).

Segundo a RILEM (1982), conceitualmente os testes que empregam a penetração de um corpo no interior da argamassa avaliam basicamente a consistência, medindo a tensão de escoamento, como por exemplo, a penetração do cone. Os ensaios de penetração de cone são prescritos pelas normas americana e britânica ASTM C 780 (2014) e BS 4551 (2005) consecutivamente (CARASEK, 2010).

Além da consistência, existem outras propriedades de interesse no estado fresco tais como adesão inicial e deformabilidade de junta fresca, plasticidade, retenção de água, coesão, teor de ar incorporado que serão descritas a seguir e avaliadas neste trabalho.

3.2.1. Consistência, plasticidade e coesão

Consistência

A consistência é uma propriedade que exprime o quão dura ou mole é uma argamassa, determina o quão rígida, plástica ou fluida uma argamassa se encontra. As argamassas são classificadas em rígidas quando necessitam de grande energia para conformação, plásticas quando necessitam de um pequeno esforço para conformação, e fluidas quando autonivelantes (PRUDÊNCIO, 1994).

A consistência de uma argamassa é normalmente medida no Brasil pela mesa de consistência (*flow table*) e pela penetração de cone (CASALI, 2008). Os procedimentos de ensaio pela mesa de consistência (*flow table*), que mede o diâmetro da base de um tronco de cone de argamassa submetido a impactos sucessivos de 30 golpes da mesa de uma altura padrão, são descritos pela ABNT NBR 7215 (1997), e a penetração de cone é prescrita pela ASTM C 780 (2014).

Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003) observaram, em testes realizados em argamassas de assentamento de blocos de concreto utilizadas em obras, valores de consistência de 230 a 280 mm. Os autores verificaram que argamassas com agregados mais finos apresentavam consistências mais próximas a 230 mm. Constataram também que, em misturas ásperas e sem coesão, mesmo para aquelas com consistências dentro da faixa de 230 a 280 mm, as argamassas eram inadequadas ao uso em alvenarias.

Plasticidade

A plasticidade é a capacidade da argamassa em manter sua deformação após alívio ou redução do esforço que a originou. É influenciada pela natureza e teor do aglomerante, aditivos presentes na mistura, teores de ar incorporado e energia da mistura. De acordo com Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), o uso de uma quantidade adequada de finos melhora a plasticidade das argamassas.

A plasticidade adequada para cada mistura demanda quantidade ótima de água, que determina uma consistência ótima em função do proporcionamento e natureza dos materiais, sendo a plasticidade e a consistência os principais fatores condicionantes da trabalhabilidade (CARASEK, 2010).

Coesão

A coesão pode ser definida como propriedade de argamassas de manterem seus materiais constituintes homogêneos, sem segregação (PRUDÊNCIO, 1994). Nas primeiras experiências do uso de argamassas de assentamento de unidades de alvenaria, de acordo com Carasek (2010), buscava-se um material que unisse e promovesse coesão aos materiais.

Steil (2003) cita em seus estudos que uma argamassa deve ter coesão suficiente para que não escorra pelas paredes dos blocos quando feitos os assentamentos. De acordo com Sabbatini (1986), uma argamassa de assentamento deve ter trabalhabilidade tal que o pedreiro produza um trabalho

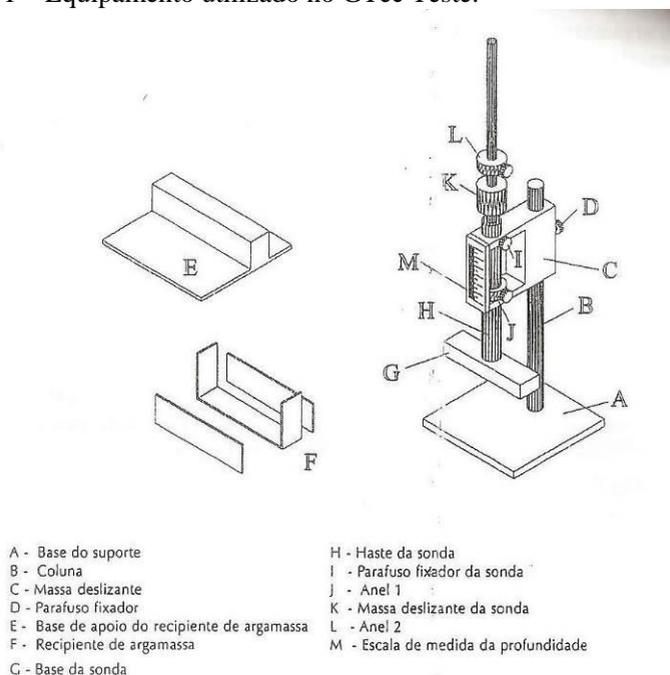
satisfatório, com rendimento otimizado, rápido e econômico. Para que as argamassas apresentem boa coesão, devem ter aglomerantes adequados, adições especiais ou aditivos incorporadores de ar.

Avaliação das argamassas no estado fresco

Os métodos que impõem à argamassa uma deformação por meio de vibração ou choque medem ao mesmo tempo a consistência e a plasticidade. No Brasil, a ABNT NBR 7215 (1997) prescreve a avaliação do índice de consistência pelo espalhamento do tronco de cone na mesa (*flow table*), quando submetido a 30 quedas segundo a ABNT NBR 13276 (2005). Apesar das limitações em avaliar reologia e trabalhabilidade, Carasek (2010) cita que o método de penetração do cone é interessante para controle da produção das argamassas na obra.

O Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes à Base de Cimento Portland na Universidade Federal de Santa Catarina GTec-UFSC desenvolveu ensaio para avaliar a trabalhabilidade das argamassas de assentamento de alvenaria estrutural, o GTec Teste. O ensaio avalia a deformação inicial sofrida por um filete de argamassa de 2 cm de altura, 2,5 cm de largura e 10 cm de comprimento, quando submetido a um esforço equivalente ao peso de um bloco assentado. São avaliadas as propriedades consistência, plasticidade e coesão (CASALI, 2008; PRUDÊNCIO, 2003). A figura 1, obtida em Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), representa o equipamento utilizado no GTec Teste.

Figura 1 – Equipamento utilizado no GTec Teste.

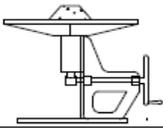
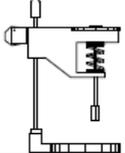
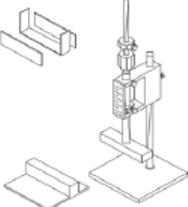


FONTE: Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003).

Outro método que propõe avaliação da trabalhabilidade das argamassas é o Vane Teste, porém é empregado originalmente em mecânica dos solos.

A figura 2 mostra os métodos normalmente empregados para avaliação da trabalhabilidade das argamassas de assentamento.

Figura 2 – Métodos empregados para avaliar a consistência e a plasticidade de argamassas.

Método	Norma	Esquema	Propriedade avaliada	Parâmetro reológico que controla o fenômeno*
Mesa de consistência (<i>flow table</i>)	NBR 7215 NBR 13276		Consistência e plasticidade	Viscosidade*
Penetração do cone	ASTM C 780		Consistência	Tensão de escoamento*
Vane teste	BS 1377 e ASTM D 4648 (solos)		Consistência	Tensão de escoamento*
Gtec teste	—		Consistência, plasticidade e coesão	Tensão de escoamento e viscosidade

FONTE: Carasek (2010).

Em seus estudos em argamassas, Casali (2008) obteve como resultado um índice de consistência *flow table* de 244,5 mm para argamassa mista de cimento, cal e areia; 205,0 mm para argamassa mista com aditivo incorporador de ar; 249,0 mm argamassa à base de cimento com aditivo incorporador de ar; e 223,5 mm para argamassa à base de cimento com aditivo incorporador de ar e aditivo retentor de água. Todas as argamassas avaliadas por Casali (2008) foram consideradas adequadas para o assentamento pelo pedreiro, sendo que a argamassa mista foi considerada pelo assentador como a de melhor trabalhabilidade no momento da realização dos ensaios.

Schankoski (2012) estudou o comportamento de argamassas de cimento de assentamento, e obteve como resultado para um traço pobre 1:0,57:4,85 (cimento:cal:areia) e 0,2% de aditivo retentor de água, 0,08% de aditivo incorporador de ar) resultados de baixa trabalhabilidade. A autora ressalta que a utilização de traços mais ricos causaria retração indesejável. No mesmo estudo, as argamassas mistas com 0,3% de polímero se tornaram pegajosas, levando a autora a definir o teor de 0,24% como teor máximo de aditivo a base de polímero para as argamassas mistas.

3.2.2. Retenção de água

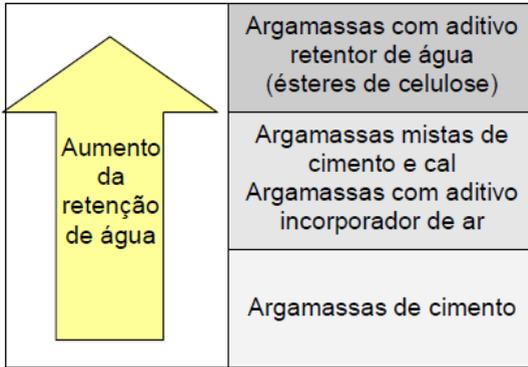
A capacidade da argamassa de opor resistência à perda de água quando em contato com as unidades de alvenaria, que são geralmente constituídas por materiais absorventes, é denominada retenção de água (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003). Dessa forma, a retenção de água pode ser entendida como a capacidade que a argamassa possui de reter a água de amassamento quando entra em contato com a superfície absorvente (SABBATINI, 1986).

No estado fresco, de acordo com Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003), se uma argamassa não possui boa retenção, ou seja, perde água facilmente, o assentamento correto das fiadas dos blocos da alvenaria será dificultado ou até mesmo impedido e a hidratação do cimento será parcial. Dessa forma, reter a água de amassamento torna-se essencial para manter a consistência e a trabalhabilidade desejadas (STEIL, 2003).

A retenção de água é propriedade muito importante para as argamassas de assentamento, pois após sua aplicação sobre uma fiada de blocos de concreto, a argamassa começa a perder água pela sucção de seus componentes de alvenaria. A retenção também influi na aderência. Isso ocorre porque se a argamassa perder água muito rapidamente para o bloco abaixo da junta pode faltar água para adequada ligação da argamassa com o bloco superior (CARASEK, 2010).

A figura 3 de Carasek (2010) mostra de forma qualitativa o aumento da retenção de água para diferentes argamassas.

Figura 3 – Variação da retenção de água para diferentes argamassas.

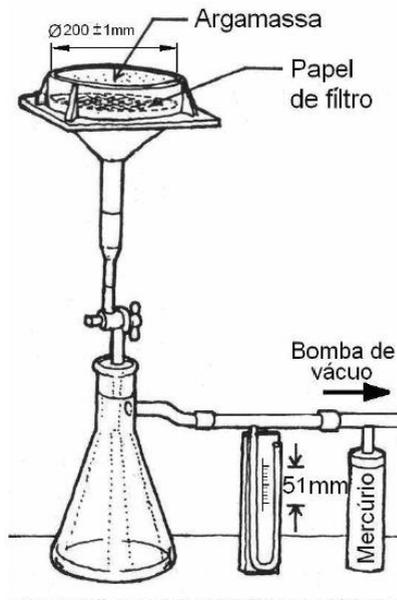


FONTE: Carasek (2010).

A retenção de água é medida pelo funil de Buchener modificado. A ABNT NBR 13277 (2005) recomenda este ensaio para argamassas de assentamento e revestimento de paredes. De acordo com esta norma, a determinação consiste em medir a quantidade de água retirada da argamassa após uma sucção de 15 minutos.

De acordo com Carasek (2010), o ensaio consiste na medida da massa de água retida pela argamassa após sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão no funil de filtragem Buchner modificado, conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4 – Ensaio de retenção de consistência pelo método ABNT NBR 13277 (2005).



FONTE: Carasek (2010).

Em estudo de argamassas de assentamento, Casali (2008) obteve em 1 minuto de sucção maiores retenções de água para argamassa mista (97,7%), em seguida para argamassas mistas com aditivo incorporador de ar (96,2%) e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água (93,5%), e por fim para argamassa de cimento com incorporador de ar (87,2%).

Aos 15 minutos de sucção medidos por Schankoski (2012), a maioria das argamassas estudadas apresentou de 90% a 94% de retenção de água. A alta retenção de água encontrada pela autora é justificada pelas argamassas industrializadas estudadas possuírem aditivos retentores de água na sua constituição.

3.2.3. Teor de ar incorporado

A densidade de massa das argamassas, ou massa específica, varia com o teor de ar principalmente quando incorporado por aditivos e com a massa específica dos materiais constituintes, prioritariamente dos agregados

(CARASEK, 2010). Os aditivos incorporadores de ar melhoram a trabalhabilidade de argamassas, aumentam a coesão e reduzem a exsudação (HARTMANN, JEKNAVORIAN, SILVA, BENINI, 2011).

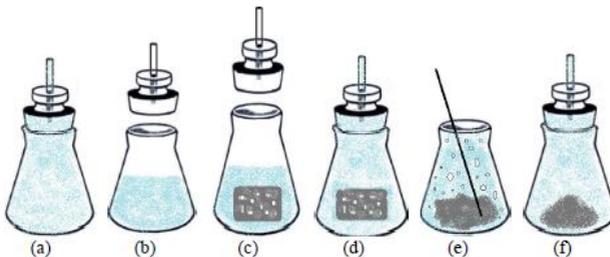
A ABNT NBR 13278 (2005) descreve a metodologia de ensaio para determinação do teor de ar para argamassas de assentamento de alvenarias, empregando o método da densidade de massa no estado fresco para cálculo do teor de ar incorporado (CASALI, 2008).

Em seus estudos, Casali (2008) utilizou a metodologia prescrita pela ABNT NBR 13278 (2005), obtendo teores de ar de 4,8% para argamassa mista, 12,4% para argamassa de cimento com incorporador de ar, e 13,5% para argamassas mistas com aditivo incorporador de ar e argamassa de cimento com incorporador de ar e retentor de água.

O teor de ar incorporado pode ainda ser determinado pela ABNT NM 47 (2002), que apresenta determinação do teor do ar pelo método pressiométrico para concretos e que pode ser adaptada para argamassas, pela norma internacional ASTM C 780 (2014), que descreve a determinação do teor de ar em argamassas pelo método pressiométrico.

O ar incorporado nas argamassas estabilizadas pode ser medido pelo método do picnômetro e solução de água e álcool desenvolvido pelo GTec, no qual o teor de ar incorporado é medido pela variação de volume em um recipiente contendo argamassa e um líquido antes e depois da retirada do ar. De acordo com Schankoski (2012), o ensaio consiste em fazer uma mistura com aproximadamente 50% de álcool e 50% de água, e, com auxílio de um picnômetro de boca larga, utilizado para massa específica de agregados graúdos, balança de precisão 0,1g e uma haste de vidro. O procedimento é apresentado na figura 5. O teor de ar incorporado é calculado pela equação representada na figura 6.

Figura 5 – Procedimento para determinação do ar incorporado pelo método do picnômetro: metodologia desenvolvida pelo GTec.



FONTE: Schankoski (2012).

(a): Pesar o picnômetro cheio da solução água e álcool (Pic+sol); (b): Retirar um pouco da solução do picnômetro e pesar, mB; (c): Colocar cuidadosamente um filete de argamassa no picnômetro, de modo que a solução contida no recipiente não seja perdida, e pesar, mA; (d): Preencher o picnômetro com a solução, movimentando o conjunto o menos possível para que o ar contido na argamassa não seja desincorporado, e pesar (Vc/ar); (e): Retirar a tampa do picnômetro e, com auxílio de uma haste de vidro, mexer o conteúdo constantemente até que se perceba a ausência de bolhas no líquido (aproximadamente 3 minutos); (f): Colocar a tampa no picnômetro novamente, e preencher o recipiente com a solução, pesar (Vs/ar).

Figura 6 – Equação de cálculo do teor de ar incorporado.

$$m = m_A - m_B$$

$$V_{c/ar} = Pic_{+sol} - (Pic_{c/ar} - m)$$

$$V_{s/ar} = Pic_{+sol} - (Pic_{s/ar} - m)$$

$$Ar (\%) = \frac{V_{c/ar} - V_{s/ar}}{V_{c/ar}} \times 100$$

FONTE: Schankoski (2012).

Onde: Vc/ar é o volume do picnômetro com solução e amostra com ar incorporado, Vs/ar é o volume do picnômetro com solução e amostra sem ar incorporado, e Ar é o ar incorporado em porcentagem.

Schankoski (2012) comparou o método gravimétrico e o método pelo picnômetro em argamassas industrializadas e obteve variações na ordem de 30%, especialmente nas misturas com maior incorporação de ar. A argamassa utilizada no picnômetro era adensada da mesma forma que as juntas de argamassa empregadas no assentamento dos mini-prismas, sendo os resultados de incorporação de ar através do picnômetro mais fiéis ao teor de ar presente na junta da argamassa utilizada no assentamento das unidades.

3.2.4. Adesão inicial

A adesão inicial é a capacidade de união inicial da argamassa no estado fresco a sua base (CARASEK, 2010). É fortemente influenciada pela plasticidade e pela coesão das argamassas além das propriedades do substrato,

sobretudo pela absorção inicial e pela rugosidade, onde a argamassa é aplicada (PRUDÊNCIO, 1994).

Uma boa adesão inicial é necessária para que, após o encabeçamento do bloco, a argamassa se mantenha a ele unida até o seu posicionamento na parede. A adesão pode ser aumentada com a redução da tensão superficial da argamassa, provocando maior facilidade na molhagem do substrato, aumentando a região de contato argamassa e substrato (CASALI, 2008).

De acordo com Carasek (2010), a tensão superficial da argamassa pode ser modificada pela alteração de sua composição. A adição de cal, aditivos incorporadores de ar e aditivos retentores de água na argamassa de cimento reduzem a tensão superficial, contribuindo para molhar de maneira mais efetiva a superfície dos agregados e do substrato.

Uma metodologia desenvolvida pela RILEM MR 5 descreve avaliação da adesividade de argamassas de assentamento considerando o tipo de componentes de alvenaria sobre o qual a argamassa será assentada. De acordo com Casali (2008), o ensaio consiste no assentamento de unidades de alvenaria com espessura de junta de aproximadamente 12 mm, após dois minutos efetua-se a retirada do bloco superior e verificação da forma de ruptura da junta. A adesão é considerada satisfatória quando o rompimento ocorre na argamassa.

Em estudos preliminares realizados com argamassas usualmente empregadas em obras de alvenaria estrutural observou-se, em todos os casos, que após 2, 5, 10 e 20 minutos de assentamento, o rompimento ocorria na interface entre o bloco de concreto e a argamassa. De acordo com a RILEM MR 5 (1982), a adesão inicial seria inadequada (CASALI, 2008).

No teste de campo GTec, o encabeçamento de um bloco de concreto é realizado aplicando-se um filete de argamassa com desempenadeira sobre a sua superfície lateral, virada para cima. Coloca-se então o bloco na horizontal (posição de assentamento), verificando se o peso próprio do filete faz com que ele se desprenda do substrato em menos que 5 segundos. Caso o filete de argamassa se desprenda, a argamassa deverá ser considerada inadequada.

3.2.5. Deformabilidade da junta fresca

A deformabilidade da junta fresca é a deformação sofrida pela junta da argamassa pelo acréscimo de carga com o assentamento dos blocos, o que limita a altura de elevação das paredes por um determinado período.

Em 2001, Araújo realizou um estudo sobre técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não armada de blocos vazados de

concreto. O pesquisador mediu em obra a deformabilidade média de aproximadamente 0,452 mm/fiada (CASALI, 2008).

De acordo com Carasek (2010), a argamassa deve adquirir enrijecimento rapidamente, de forma a permitir o assentamento de várias fiadas no mesmo dia e desenvolver resistência adequada ao longo do tempo.

Casali (2003) concluiu que, para não ocorrer uma redução significativa na espessura da junta de argamassas, deve ser deixado um tempo superior a 15 minutos para o assentamento de fiadas superiores. E em 2008, a autora recomendou um sistema de rodízio de paredes durante o assentamento para a argamassa adquirir rigidez suficiente para continuar a elevação.

3.3. PROPRIEDADES E ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO

Quanto às propriedades das argamassas no estado endurecido, destacam-se a resistência à compressão, a aderência e o módulo de elasticidade.

3.3.1. Resistência à compressão

A resistência à compressão é parâmetro de qualidade e durabilidade das argamassas de assentamento. Há necessidade da argamassa ter resistência suficiente para assentar os blocos de concreto, distribuindo a carga atuante nas unidades de alvenaria (STEIL, 2003).

Uma argamassa de assentamento deve ter resistência suficiente para assentar os blocos de concreto, distribuindo a carga atuante nas unidades de alvenaria (STEIL, 2003). Casali (2008) ressalta em seus estudos que, de acordo com as normas brasileiras, existem geometrias de corpos de prova distintos para avaliação da resistência à compressão de argamassas. A ABNT NBR 7215 (1997) recomenda corpos de prova cilíndricos de (5x10) cm, enquanto que a ABNT NBR13279 (2005) cita corpos de prova prismáticos de (4x4x16) cm para determinação da resistência à compressão e à tração na flexão.

A argamassa deve resistir aos esforços que a parede está submetida, mas não deve exceder a resistência do bloco na área líquida, de maneira que as fissuras que venham a ocorrer no conjunto ocorram preferencialmente na junta ou na interface com as unidades de alvenaria. Por isso, a norma brasileira de alvenaria estrutural, a ABNT NBR 15961 (2011), sugere que a resistência à compressão máxima da argamassa deve ser de 0,7 da resistência do bloco em área líquida.

As argamassas industrializadas ensacadas estruturais de resistência nominal de 10 MPa estudadas por Schankoski (2012) conduziram aos valores de resistência à compressão na ordem de 8,5 MPa. As argamassas estruturais apresentaram cerca de 33% de aumento da resistência à compressão dos 7 para os 28 dias.

3.3.2. Aderência

A aderência se estabelece e fica definida para suas finalidades no momento em que é feito o contato da argamassa com o bloco (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

De acordo com Carasek (2010), a aderência é uma propriedade que depende da interação da argamassa de assentamento e das unidades de alvenaria. A resistência de aderência depende da capacidade que a interface bloco-argamassa possui de absorver tensões de cisalhamento e de tração. É afetada pelas características da argamassa, dos blocos de concreto e do processo de assentamento (STEIL, 2003).

Os métodos de ensaios consistem em separar duas ou mais unidade ligadas por argamassa. Mede-se a força de separação e divide-se pela área de contato argamassa/unidade, onde a medida de aderência é a tensão obtida (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003). Apesar da importância desta propriedade em alvenaria estrutural, os métodos de ensaios ainda não são adequados para medir o valor da aderência como uma característica independente.

O ensaio em prismas é o mais comumente empregado para avaliação da aderência. A ABNT NBR 15961 (2011) recomenda a confecção de prismas de cinco fiadas. Outro método proposto por Casali (2003) consiste na utilização de corpos de prova reduzidos ou mini-prismas para análise da aderência. Estes ensaios serão explanados em 3.4.2 que trata de prismas.

3.3.3. Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é a relação entre a tensão existente num corpo e a deformação específica produzida por esta tensão, definida pela declividade da curva tensão versus deformação sob um carregamento uniaxial.

A argamassa de assentamento é material fundamental para as alvenarias e deve garantir a formação de um sistema monolítico e a solidez da parede. Deve transmitir as ações verticais atuantes de forma a solidarizar as unidades

criando uma estrutura única e acomodar as deformações concentradas sem causar fissuras (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010).

De acordo com Carasek (2010), argamassas de assentamento devem apresentar capacidade de absorver pequenas deformações, para se deformar sem ruptura ou por meio de microfissuras, de modo a não comprometer a sua aderência, estanqueidade e durabilidade.

A capacidade de deformação está associada ao módulo de elasticidade da argamassa. É um fator de importância na definição de resistência da alvenaria, pois a relação entre rigidez dos materiais empregados define a resistência final da alvenaria e seu modo de ruptura (SILVA, 2007).

Os ensaios de resistência à compressão e de deformabilidade das argamassas em corpos de prova não reproduzem o real estado de tensões a que o material está sujeito quando compõe uma junta de alvenaria. Um aumento na resistência à compressão da argamassa não implica em um aumento substancial na resistência da alvenaria (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

Nos estudos de Schankoski (2012), as argamassas testadas apresentaram valores de módulo de elasticidade variando de 9 até 11 GPa, cerca de 38% do módulo dos blocos, permitindo que as deformações ocorram preferencialmente nas juntas.

Embora discutidas as propriedades nos estados fresco e endurecido das argamassas de assentamento isoladamente, é de suma importância a análise da adesão e da aderência do conjunto blocos de concreto e argamassa, explanada no item 3.4.

3.4. PRISMAS DE BLOCOS DE CONCRETO

Durante muito tempo a principal finalidade da argamassa era somente a de unir as unidades e ser a válvula de escape para as deformações concentradas, pois o aumento de resistência da argamassa não produzia um significativo incremento na resistência da alvenaria. Dessa forma, a resistência da argamassa sempre foi deixada em segundo plano. Somente na década de 70, pesquisadores como Khoo e Hendry (1973) começaram a realizar testes para avaliar o comportamento triaxial da argamassa e, com isso, explicar os mecanismos de ruptura das alvenarias à compressão (MOHAMAD, 2010).

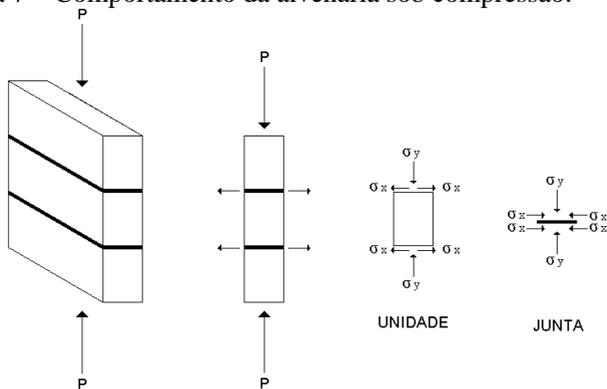
A avaliação da resistência à compressão da alvenaria pode ser realizada por meio de ensaios de prismas de 2 a 5 blocos e paredes em tamanho real (SILVA, 2007). Como ensaios em paredes em tamanho real não são de fácil realização e possuem custo elevado, e ensaios em blocos não preveem a

interação bloco-argamassa, os ensaios em prismas (compostos por blocos mais argamassa de assentamento) são bem empregados nos laboratórios de pesquisa.

De acordo com Priestley e Yuk (1984) citado em Steil (2003), quando a alvenaria é submetida à compressão, a argamassa tende a se expandir lateralmente, porém o atrito na interface bloco-argamassa restringe a deformação. Assim, surgem tensões de compressão na argamassa e, para que o equilíbrio de tensões seja mantido, o bloco fica sujeito a tensões de tração. Como a resistência à tração dos blocos de concreto é pequena, a ruptura da alvenaria ocorre sob um estado triaxial (tração-compressão-tração) caracterizado pela fissuração vertical perpendicular às tensões de tração nos blocos.

Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003) explicam, por meio da figura 7 que, pelo fato da argamassa de assentamento ser mais deformável que o bloco de concreto, quando uma alvenaria está comprimida, ocorre uma tração transversal na região interface unidade de alvenaria (do bloco de concreto) e junta de argamassa, surgindo uma compressão transversal no topo e na base das juntas bem como uma tração nas faces superiores e inferiores dos blocos.

Figura 7 – Comportamento da alvenaria sob compressão.



FONTE: Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003).

Em seus estudos, Mohamad, Roman, Rizzatti, Romagna (2010) destacam que o mecanismo de ruptura dos componentes da alvenaria é importante para a especificação dos materiais apropriados para a execução de uma edificação. Desta forma, existem diferenças no mecanismo de ruptura e na resistência final da alvenaria (bloco de concreto mais argamassa de assentamento), comportamento que influencia o fator de eficiência (resistência

à compressão do prisma de alvenaria dividida pela resistência à compressão do bloco de concreto).

Prudêncio, Oliveira e Bedin (2003) observaram diferenças nos fatores de eficiência em blocos de concreto de distintos fabricantes, principalmente pela geometria dos blocos. Os autores recomendam conhecimento específico em cada caso e determinações experimentais para projetos e especificações de blocos.

Em ensaios de prismas de blocos de concreto e juntas de argamassa estabilizada, Matos, Schankoski e Prudêncio (2014) concluíram que, para um fator de eficiência de 0,70, considerado ideal para alvenaria estrutural de blocos de concreto, a resistência dos prismas deve ser aproximadamente igual à característica dos blocos. Exemplificam que, para resistência característica do bloco igual a 6 MPa, a resistência efetiva do bloco deve ser em torno de 9 MPa; com um fator de eficiência de 0,70, a resistência de prisma deve ser igual 6,3 MPa, próxima à resistência característica dos blocos.

3.4.1. Resistência à compressão e medida de deformação

A capacidade resistente da alvenaria à ação de esforços de compressão normais ao seu plano vertical é parâmetro essencial no comportamento mecânico da alvenaria estrutural. A determinação da resistência e o mecanismo de ruptura da alvenaria quando submetida a esforços de compressão são fundamentais ao entendimento do comportamento deste sistema, bem como a capacidade de absorção de água relacionada à porosidade dos materiais constituintes. Os blocos de concreto e as argamassas de assentamento são fatores que interferem na resistência à compressão da alvenaria estrutural (MEDEIROS e SABBATINI, 1993).

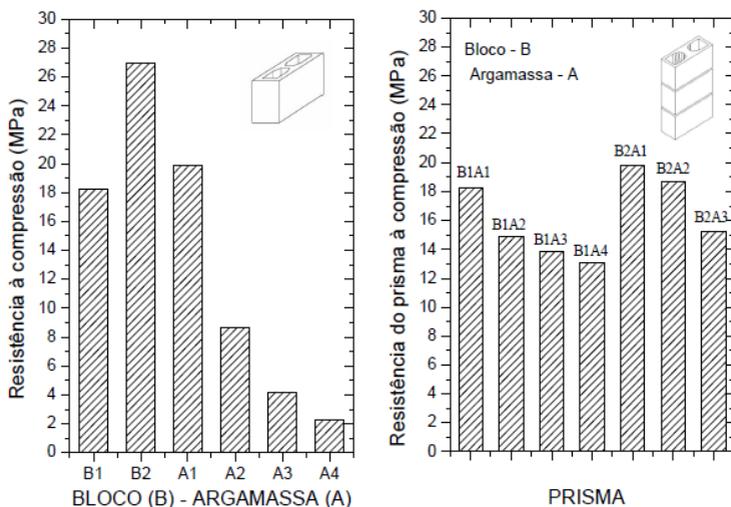
De acordo com Calçada (1998), citada em Steil (2003), a determinação da resistência à compressão pode ser feita através de ensaio de prismas, que tem a vantagem de ser realizado com os mesmos materiais da obra, bem como ensaio de paredes, ou ainda através de equações empíricas e analíticas, que não levam em conta todas as variações possíveis dos materiais. Como já mencionado, os prismas são corpos de prova constituídos por dois ou mais blocos unidos entre si por juntas de argamassa, caracterizados por uma unidade de comprimento, uma unidade de largura e altura 2 a 5 vezes a largura.

Em estudos em prismas de blocos de concreto não grauteados, Mohamad (1998) obteve diferentes modos de ruptura de acordo com a resistência da argamassa, concluindo que a argamassa induz tensões laterais no bloco. Observou-se que normalmente o esfacelamento aconteceu na face

superior do bloco intermediário e, após o esfacelamento, verificou-se uma perda de aderência entre a argamassa e o bloco, gerando esmagamento na junta de assentamento. O esmagamento gerou fissuras ao longo do comprimento do bloco, tentando esfacelar o bloco superior em contato com a junta, apesar de não ter levado o prisma a perder a capacidade resistente.

A figura 8 representa resultados individuais obtidos por Mohamad (1998) de duas resistências de blocos na área líquida (B1 e B2) e quatro resistências de argamassas A1, A2, A3 e A4 e as resistências de combinações de prismas. A relação entre a área líquida e a área bruta do bloco foi de 0,59.

Figura 8 – Resistências dos blocos, argamassas e prismas, em área líquida, obtidos por Mohamad (1998).



FONTE: Mohamad, Roman, Rizzatti, Romagna (2010).

Os ensaios de prismas de blocos de concreto mostraram que a resistência à compressão da alvenaria aumenta com a resistência da argamassa. Em geral, a ruptura da alvenaria ocorre na unidade por tração-compressão mas, em argamassas muito fracas, a ruptura pode ter início pelo esmagamento à compressão da argamassa (DA MATA, 2006).

Matos, Schankoski e Prudêncio (2014), avaliaram as propriedades das argamassas estabilizadas com dois tempos de utilização: logo após a confecção das mesmas e 36 horas depois. Neste estudo, foram moldados primas de três

fiadas, confeccionados com blocos de concreto com fbk igual a 6 MPa e 9 MPa, e ensaiados 28 dias após a moldagem. Os resultados obtidos pelos autores são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados dos ensaios em prismas de três fiadas obtidos por Matos, Schankoski e Prudêncio (2014).

Ensaio	Prisma	6 MPa		9 MPa		14 MPa	
		1º dia	2º dia	1º dia	2º dia	1º dia	2º dia
Resistência (MPa)	1	7,2	4,35	9,64	11,53	6,04	8,97
	2	5,43	4,02	14,36	13,72	6,63	5,32
	3	5,71	6	10,47	11,84	10,12	6,83
	4	-	6,24	12,69	-	-	-
	Média	6,11	5,15	11,79	12,36	7,6	7,04
	Desvio	0,95	1,13	2,14	1,19	2,2	1,83
	CV	15,56%	21,92%	18,18%	9,59%	29,00%	26,01%
Fator de Eficiência	1	0,69	0,42	0,47	0,56	0,23	0,35
	2	0,52	0,38	0,7	0,66	0,26	0,21
	3	0,55	0,57	0,51	0,57	0,39	0,26
	4	-	0,6	0,62	-	-	-
	Média	0,59	0,49	0,58	0,6	0,29	0,27
	Desvio	0,09	0,11	0,1	0,06	0,09	0,07
	CV	15,47%	22,08%	18,21%	9,23%	29,00%	26,01%

FONTE: Matos, Schankoski e Prudêncio (2014).

A tabela acima mostra como resultados resistências médias de 6,11 MPa (1º dia) e 5,15 MPa (2º dia) para prismas com blocos de concreto com fbk igual a 6 MPa. Em prismas com blocos de concreto de fbk igual a 9 MPa, resistências médias de 11,79 MPa (1º dia) e 12,36 MPa (2º dia). Resistências médias de 7,6 MPa (1º dia) e 7,04 MPa (2º dia) foram obtidas em prismas com blocos de concreto com fbk igual a 14 MPa. Os autores obtiveram resistências à compressão superiores às esperadas para os prismas confeccionados com blocos de concreto com fbk igual a 6 MPa e 9 MPa, e resistências inferiores às esperadas para prismas com blocos de concreto com fbk de 14 MPa.

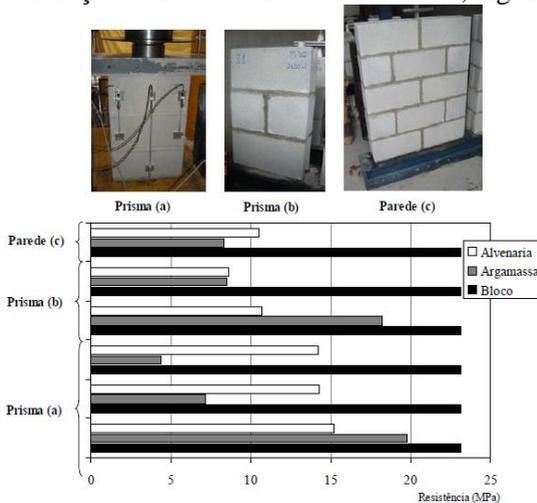
Os autores atribuíram o mau desempenho dos prismas de blocos de 14 MPa ao fato desses blocos de concreto mais resistentes serem mais compactos, implicando numa menor porosidade dos blocos, o que dificulta a percolação de materiais cimentícios da argamassa. O fato da argamassa de 14 MPa conter maior quantidade de cimento pode exigir o aumento do teor de aditivo incorporador de ar e/ou aditivo estabilizador de hidratação para melhorar a

trabalhabilidade inicial e a sua manutenção. Como não houve aumento dos teores desses aditivos, a trabalhabilidade inicial e sua manutenção podem ter sido prejudicadas. Ressaltam ainda que os blocos de concreto de 14 MPa apresentaram resistências efetivas de aproximadamente 26 MPa, acima dos 14 MPa esperados.

Mohamad (2010), em seus estudos no ano de 2007, analisou resistência à compressão e eficiência de prismas de três blocos inteiros (a), prismas de dois blocos inteiros e dois meio blocos com uma junta vertical (b) e paredes (c). A figura 9 mostra resultados de resistência do bloco, argamassa e alvenaria em função do tipo de componente.

Como o autor obteve resultados semelhantes de resistência para os prismas tipo (b) e paredes (c), concluiu que os prismas de dois blocos inteiros e dois meio blocos com uma junta vertical (b) podem representar as características das alvenarias em termos de valores de resistência à compressão.

Figura 9 – Relação entre resistências da alvenaria, argamassa e do bloco.



FONTE: Mohamad, Roman, Rizzatti, Romagna (2010).

O módulo de elasticidade consiste na relação entre a tensão aplicada em um corpo e a deformação específica produzida por essa tensão. Ensaio de deformação longitudinal de prismas confeccionados com blocos de concreto e argamassas mistas e industrializadas realizados por Steil (2003), geraram resultados satisfatórios nas curvas de tensão e deformação. Os resultados

obtidos mostraram a argamassa mais deformável comprimida lateralmente pelo bloco mais rígido e o bloco tracionado lateralmente.

Em prismas não grauteados, a rigidez argamassa-bloco é importante na resistência da alvenaria e no tipo de ruptura, que estão relacionados à capacidade de deformação da argamassa e aderência argamassa-bloco (MOHAMAD, ROMAN, RIZZATTI, ROMAGNA, 2010).

Steil (2003) estudou argamassas industrializadas e argamassas mistas no traço 1:1:5, e obteve prismas mais deformáveis quando produzidos com argamassa industrializada do que os prismas produzidos com argamassa mista, apesar das resistências à compressão das argamassas terem sido similares em corpos de prova de (5x10) cm. Uma explicação para este comportamento está na forma de ruptura dos prismas. Quando empregada argamassa mista, o autor observou fissuras verticais ao longo da parede do prisma, e para os casos em que se utilizou argamassa industrializada, a ruptura dos prismas aconteceu por esmagamento da junta.

3.4.2. Aderência

A aderência entre argamassa no estado endurecido e os blocos de concreto em alvenaria estrutural é fenômeno essencialmente mecânico justificado pela penetração da argamassa nos poros (CARASEK, 2010). A aderência é uma propriedade essencial nas argamassas de assentamento, que fazem a ligação entre os blocos de concreto e formam um conjunto monolítico. Casali (2008) enfatiza que a aderência não é uma propriedade intrínseca da argamassa, pois depende das características do substrato e da interação bloco de concreto e argamassa.

Em alvenaria estrutural, quantifica-se diretamente a resistência de aderência do conjunto argamassa-bloco, não havendo sentido quantificar uma argamassa de assentamento isoladamente (SABBATINI, 1986).

A aderência deriva da conjunção de três propriedades da interface argamassa-substrato: resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento, e extensão de aderência, que é a área de contato efetivo pela área total possível de ser unida (CARASEK, 2010). Em seus estudos, Casali (2008) cita que os métodos de avaliação da aderência argamassa-bloco podem ser divididos em grupos baseados nos esforços aplicados: tração direta, cisalhamento e flexão. A interação entre o bloco de concreto e a argamassa de assentamento inicia quando a argamassa no estado fresco é colocada sobre a superfície porosa e absorvente do bloco de concreto (CASALI, 2008).

A presença dos aditivos nas argamassas, em especial os incorporadores de ar que têm intuito de melhoria da plasticidade, característica antes promovida pela cal, exerce influência na aderência argamassa-bloco (PRUDÊNCIO, OLIVEIRA, BEDIN, 2003).

A ABNT NBR 15961 (2011) recomenda a confecção de prismas de cinco fiadas ensaiados como vigas submetidas à flexão para avaliação da aderência da alvenaria. O ensaio consiste em confeccionar um prisma de alvenaria com cinco blocos sobrepostos. Após o período de cura, o prisma é colocado em posição horizontal e apoiado nos dois blocos extremos, e ensaiado à flexão como uma viga. A medida da carga necessária para romper o prisma por tração na flexão é o parâmetro de controle de resistência de aderência da argamassa ao bloco de concreto.

A tabela 5 mostra os valores da resistência à tração da alvenaria sob flexão, em relação à área bruta dos prismas, segundo os valores característicos definidos pela ABNT NBR 15961 (2011) para argamassas de cimento, cal e areia sem aditivos e adições e juntas verticais preenchidas.

Tabela 5 – Valores característicos da resistência à tração na flexão.

Direção da tração	Resistência média à compressão da argamassa (MPa)		
	1,5 a 3,4	3,5 a 7,0	Acima de 7,0
Normal à fiada	0,08	0,15	0,20
Paralela à fiada	0,20	0,40	0,50

FONTE: ABNT NBR 15961, 2011.

Em ensaios de prismas com blocos de concreto e argamassa estabilizada, Matos, Schankoski e Prudêncio (2014) concluíram que o tempo decorrido desde a mistura dos materiais constituintes até a utilização da argamassa estabilizada influencia na aderência bloco e junta, fato observado para os prismas com blocos de 6 MPa e 9 MPa.

Schankoski (2012) estudou aderência em prismas de quatro fiadas com argamassas industrializadas estruturais de 5 MPa e 10 MPa, uma argamassa de traço pobre 1:0,57:4,85 (cimento:cal:areia), e uma argamassa mista de traço rico 1;0,57:4,00 (cimento:cal:areia) com adição de 0,2% de aditivo retentor de água e 0,08% de aditivo incorporador de ar. A autora obteve melhores resultados nos prismas confeccionados com argamassa industrializada estrutural de 10 MPa, sendo que a adição de 20% de argamassa colante melhorou a aderência em cerca de 7%.

Os valores de aderência obtidos por Schankoski (2012) ficaram muito inferiores aos prescritos pela ABNT NBR 15961 (2011). De acordo com a

norma, a aderência entre bloco e junta de prismas deve ser no mínimo 0,20 MPa para argamassas com resistência acima de 7 MPa. A autora enfatiza que as argamassas industrializadas estruturais geraram prismas mais aderentes do que os demais tipos de argamassas, embora a aderência proporcionada não seja suficiente para um desempenho satisfatório da parede.

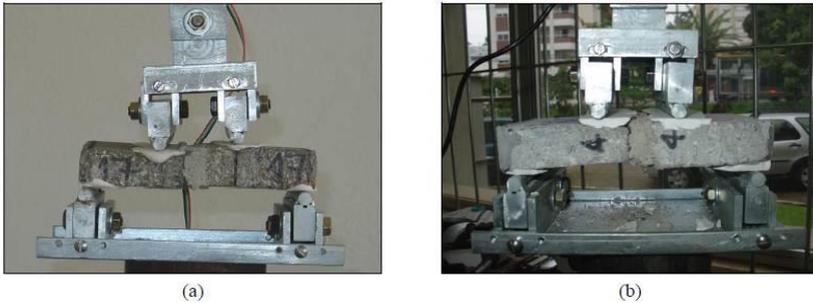
Mini-prismas

Casali (2008) propôs um método de avaliação de aderência entre a junta de argamassa e o bloco de concreto, em corpos de prova reduzidos, chamados de mini-prismas, que devem ser rompidos por tração na flexão. Os mini-prismas visam reproduzir as condições de prismas de quatro fiadas, através do seccionamento de fatias do bloco, simulando a região do prisma, e o assentamento das fatias.

O desejável seria extrair o mini-prisma do prisma moldado, mas isso não seria recomendável, pois no momento do corte, a interface entre a argamassa de assentamento e o bloco de concreto se romperia por ser o elo mais frágil entre os dois materiais, e também porque o seccionamento poderia gerar fissuras no mini-prisma, comprometendo a análise dos resultados (CASALI, 2008).

De acordo com o procedimento, devem ser retiradas quatro amostras da face superior e quatro amostras da parte inferior dos blocos, além de fatias que devem servir de sobrepesos, simulando a moldagem de uma parede de alvenaria onde as fiadas estão sujeitas ao peso de fiadas subsequentes. As fatias devem ser retiradas de paredes longitudinais, que recebem maior quantidade de argamassa, reproduzindo o comportamento do prisma (CASALI, 2008). A figura 10 representa o aparato de ensaio de flexão dos mini-prismas e a realização do ensaio por Casali (2008).

Figura 10 – Aparato de ensaio de flexão dos mini-prismas e o ensaio sendo realizado na (a) posição invertida ao do prisma e (b) posição correta de aplicação no prisma.



FONTE: Casali (2008).

Após a obtenção dos valores de resistência de aderência na flexão nos mini-prismas e nos prismas, Casali (2008) realizou uma correlação entre esses resultados para as argamassas estudadas. A análise mostrou uma boa correlação entre as resistências de aderência obtidas para os prismas e os mini-prismas. Os valores obtidos por Casali (2008) são mostrados na tabela 6.

Tabela 6 – Resistência de aderência na flexão em mini-prismas e prisma com relação para as argamassas estudadas.

Argamassa	Resistência de aderência na flexão para amostra com absorção média em mini-prismas (MPa)	Resistência de aderência na flexão em prismas (MPa)	Relação (resistência no prisma/resistência obtida em mini-prisma)
Mista	0,34	0,30	0,88
Mista com incorporador de ar	0,16	0,09	0,54
Cimento com incorporador de ar	0,32	0,20	0,62
Cimento com incorporador de ar e retentor de água	0,14	0,07	0,51

FONTE: Casali (2008).

A maior relação obtida foi para a argamassa mista, sendo a resistência de aderência do prisma mais próxima da obtida em mini-prisma. Observou-se que as maiores resistências à compressão foram obtidas para a argamassa mista que obteve as maiores resistências de aderência na flexão em prisma, e que, a argamassa que apresentou a menor resistência à compressão também apresentou as menores resistências de aderência na flexão em prisma.

A pesquisadora explica que a resistência obtida nos prismas tem a tendência de ser mais afetada por outros fatores que não observados no mini-prisma, como: maior sensibilidade no prisma aos efeitos do assentamento (como o ajuste e nivelamento dos blocos de concreto) e a presença de aditivos incorporadores de ar, que pode ter causado menor extensão de aderência, o que foi maximizado numa maior área (maior quantidade de defeitos), reduzindo a resistência de aderência no prisma.

4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi elaborado com intuito de cumprir o objetivo de propor um método de dosagem e avaliar o uso de argamassas estabilizadas para assentamento de blocos de concreto em sistemas em alvenaria estrutural. Para tanto, foram estudadas argamassas estabilizadas de resistências distintas na ordem de 4 MPa a 16 MPa aos 28 dias e blocos de concreto selecionados com resistências compatíveis a cada uma delas.

Nos itens 4.1 e 4.2 são descritos brevemente os materiais que foram utilizados nesta pesquisa, apresentando-se na sequência os procedimentos e os métodos experimentais, que foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção (LMCC) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

A metodologia aqui apresentada está dividida em três partes. A primeira se concentrará em apresentar um estudo piloto feito em obra; posteriormente, estudo piloto realizado em laboratório; e por fim, a metodologia de dosagem de argamassas estabilizadas.

4.1. ESTUDO PILOTO EM OBRA

O estudo piloto foi elaborado com o objetivo de avaliar as propriedades no estado fresco de argamassas de assentamento estabilizadas produzidas por uma empresa estabelecida na região da Grande Florianópolis e utilizadas em obras de alvenaria estrutural. A resistência à compressão das argamassas era de 6 MPa aos 28 dias e a sua armazenagem era feita em recipientes instalados em obra por períodos de até três dias. As obras onde foram empregadas situavam-se em Biguaçu e São José/SC.

Durante a investigação em obra, pode-se avaliar argamassas recém chegadas à obra e armazenadas em recipientes. Foram coletadas amostras no momento da chegada em obra, aproximadamente uma hora após a confecção, e seis horas depois. A trabalhabilidade das argamassas foi avaliada por assentadores da obra como sendo a ideal para assentamento e em seguida determinada pelos parâmetros obtidos pelo GTec Teste e massa específica para obtenção do ar incorporado pelo método gravimétrico.

Na central dosadora, as argamassas estabilizadas apresentavam 18% de ar incorporado logo após a confecção. Na chegada da obra, em uma hora após a confecção, apresentavam 15% de ar incorporado e, em seis horas, 9% de ar incorporado, sendo necessária a adição de água (prevista pelo fabricante) para

ajuste da trabalhabilidade ao assentamento dos blocos. Os teores de ar incorporado foram determinados pela densidade de massa.

As argamassas recém-chegadas na obra que apresentaram teor de 15% de ar incorporado, obtiveram como resultado no GTec Teste valores de consistência de 16 a 18 mm e 2 golpes para 10 mm. As argamassas armazenadas por um período de seis horas que apresentaram teor de ar de 9%, apresentaram uma consistência de 19 mm e 6 golpes para 10mm de junta.

Com base nas informações obtidas em obra, foram produzidas em laboratório misturas através de um estudo piloto em laboratório.

4.2. ESTUDO PILOTO EM LABORATÓRIO

Foi elaborado um estudo piloto, de modo a determinar o teor de ar incorporado ideal e verificar a influência da redosagem de água no desempenho das argamassas.

4.2.1. Materiais

Os materiais constituintes das argamassas estabilizadas deste estudo piloto foram cimento Portland, agregado miúdo, água e aditivos retardador estabilizador de hidratação e incorporador de ar. Os materiais foram escolhidos por serem usualmente empregados na formulação das argamassas estabilizadas e adquiridos com facilidade na região da Grande Florianópolis.

4.2.1.1. Cimento Portland

Foi empregado para desenvolvimento deste trabalho cimento Portland pozolânico CP IV 32 RS fornecido pela Votoran da fábrica de Itajaí, fabricado pela Votorantim. O boletim do cimento Portland utilizado é apresentado na tabela 7.

Tabela 7 – Características físicas e químicas do cimento CP IV empregado no estudo piloto.

Características	Média	Desvio Padrão
Passante #200 (%)	0,52	0,06
Passante #325 (%)	2,81	0,32
Blaine (cm ² /g)	4486	12,4
Início de pega (minutos)	248,21	14,76
Fim de pega (minutos)	317,50	18,89
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	26,50	0,95
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	30,95	1,16
Massa específica (kg/dm ³)	2,83	-
Perda ao fogo (%)	3,44	0,18
Resíduo insolúvel (%)	26,01	1,52
MgO (%)	4,97	0,11
SO ₃ (%)	2,75	0,10

FONTE: Votorantim Cimentos (2016).

4.2.1.2. Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado nesse estudo piloto foi uma mistura de agregado miúdo de origem natural e outro de britagem, fornecido pela Ouro Preto Minerações, com granulometrias distintas, compatíveis com os utilizados em argamassas de assentamento, comumente empregado na região da Grande Florianópolis.

A caracterização foi feita através da realização de ensaios prescritos pelas normas brasileiras, conforme tabela 8.

Tabela 8 – Caracterização do agregado miúdo.

Norma	Caracterização
ABNT NBR NM 248 (2003)	Módulo de finura
ABNT NBR NM 46 (2003)	Material pulverulento
ABNT NBR NM 52 (2009)	Massa específica aparente

As tabelas 9 e 10 apresentam os resultados dos ensaios realizados em amostra dos agregados natural e de britagem utilizadas nas argamassas estabilizadas do estudo piloto em laboratório. O anexo 8 (tabela 68) apresenta a distribuição granulométrica da areia natural e da areia de britagem. A figura 11

mostra a curva granulométrica dos agregados miúdos de origem natural e de britagem.

Tabela 9 – Caracterização da areia natural.

Areia Natural		
#	Massa (g)	% Acum.
12,5	0,0	0%
9,5	0,0	0%
6,3	0,0	0%
4,8	0,0	0%
2,4	0,0	0%
1,2	4,1	1%
0,6	44,4	10%
0,3	92,0	28%
0,15	241,8	75%
0,075	109,2	97%
Pulverulento		97%
Fundo	17,2	
Σ	508,7	113 %

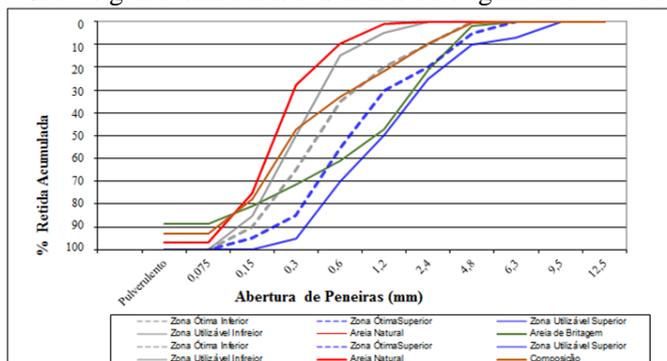
Massa específica	Módulo de Finura
2,61 Kg/dm³	1,13

Tabela 10 – Distribuição granulométrica da areia de britagem.

Areia de Britagem		
#	Massa (g)	% Acum.
12,5	0,0	0%
9,5	0,0	0%
6,3	0,0	0%
4,8	11,9	2%
2,4	135,3	21%
1,2	178,4	47%
0,6	98,1	61%
0,3	70,0	71%
0,15	66,8	81%
0,075	53,7	89%
Pulverulento		89%
Fundo	78,7	
Σ	692,9	283 %

Massa específica	Módulo de Finura
2,73 Kg/dm³	2,83

Figura 11 – Curvas granulométricas das areias de origem natural e de britagem.



4.2.1.3. Aditivos

Foram empregados aditivo estabilizador de hidratação e aditivo incorporador de ar, ambos fornecidos pela BASF e caracterizados na Tabela 11.

O aditivo retardador estabilizador de hidratação foi empregado em função do tempo de utilização da argamassa na obra avaliando teor limite para que o desempenho do material não seja prejudicado, e o aditivo incorporador de ar, definindo a faixa ideal de teor de ar nas argamassas estabilizadas.

Tabela 11 - Propriedades físico químicas dos aditivos RHEOMIX® 701 M e RHEOMIX® 702

Aditivo RHEOMIX® 701 M		Aditivo RHEOMIX® 702	
Estado físico	Líquido	Estado físico	Líquido
Cor	Avermelhado	Cor	Amarelado
Massa específica	1,00 - 1,04 g/cm ³	Massa específica	1,16 - 1,20 g/cm ³

FONTE: BASF (2016).

4.2.1.4. Água

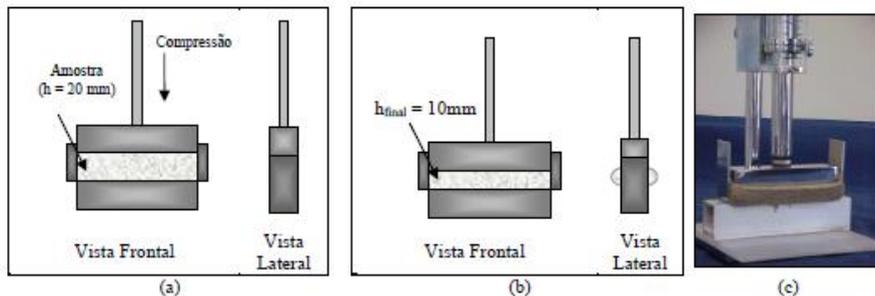
A água utilizada na confecção das argamassas foi da rede de abastecimento da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento.

4.2.2. Métodos

Para confecção das argamassas estabilizadas, foram empregados traços em volume nas proporções 1:m (cimento : areia) em 1:4, 1:5,5, 1:7, usuais em argamassas de assentamento e utilizados em outras pesquisas do Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes a base de Cimento Portland (GTec).

A relação água/cimento foi ajustada no momento da dosagem das argamassas estabilizadas de forma que obtivessem trabalhabilidade adequada pelos parâmetros do GTec Teste. Este ensaio avalia a trabalhabilidade das argamassas através da simulação de um assentamento real, por meio da deformação inicial da junta após a colocação da unidade e a energia necessária para que a junta se deforme e apresente uma espessura de 1,0 cm. A figura 12 representa este ensaio. A simulação é feita com um filete de argamassa de 2,0 cm de altura, 2,5 cm de largura e 10 cm de comprimento, onde a espessura resultante do filete deverá ficar na faixa de 15 mm a 18 mm e número de golpes entre 7 e 15, critérios estabelecidos por Casali (2003), para que a argamassa apresente espessura de 1,0 cm.

Figura 12 – Representação esquemática da condição (a) inicial, (b) final do ensaio e (c) foto ilustrativa do final do ensaio com o GTec Teste.



FONTE: Casali (2008).

Os teores de aditivo incorporador de ar testados foram nos percentuais 0,27, 0,37, 0,47, em relação à massa de cimento, de forma que proporcionassem percentual de ar da ordem de 18% para as argamassas no tempo 0h. O aditivo estabilizador de hidratação foi testado no percentual 0,8, de forma a obter-se uma estabilização de até 36 horas após a confecção das argamassas. Os teores apresentados são os percentuais recomendados pelo fabricante.

A fim de prever o efeito da perda da trabalhabilidade, incluindo a redução de ar, e uma possível redosagem para ajustar a trabalhabilidade, as argamassas estabilizadas foram ensaiadas em 0, 8 e 32 horas após a confecção das misturas (tempos de utilização). Foram realizados os ensaios GTec Teste para avaliação da consistência, plasticidade e coesão, densidade de massa para avaliação do teor de ar incorporado e moldagem e rompimentos de dois corpos de prova cilíndricos de 5x10 cm para verificação da resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias. A tabela 12 abaixo mostra um esquema do estudo piloto.

Tabela 12 – Esquema do estudo piloto.

Traço	Aditivo incorporador de ar	Aditivo estabilizador de hidratação	Água	GTec Teste	Massa específica (teor de ar)	Moldagem de corpos de prova cilíndricos 2 (7 dias) e 2 (28 dias)
1:4	0,27%	0,80%	GTec Teste 15-18mm	T = 0 h		
	0,37%			T = 8 h		
	0,47%			T = 32 h		
1:5,5	0,27%	0,80%	GTec Teste 15-18mm	T = 0 h		
	0,37%			T = 8 h		
	0,47%			T = 32 h		
1:7	0,27%	0,80%	GTec Teste 15-18mm	T = 0 h		
	0,37%			T = 8 h		
	0,47%			T = 32 h		

Para a confecção das argamassas estabilizadas, o procedimento de mistura foi realizado na seguinte sequência: (i) colocava-se todo o agregado e cimento na cuba da argamassadeira, ligando-a e deixando homogeneizar por 30 segundos em velocidade 1 (lenta); (ii) adicionava-se 85% da água e a argamassadeira era acionada por 30 segundos; (iii) adicionava-se o aditivo incorporador de ar e acionava-se a argamassadeira por 1 minuto; (iv) desligava-se a argamassadeira e com uma espátula fazia-se a raspagem da argamassa no fundo e laterais na cuba; (v) colocava-se o aditivo estabilizador de hidratação e acrescentava-se os 15% restantes de água, ligava-se a argamassadeira deixando bater por dois minutos. Todo o procedimento foi feito com a argamassadeira em rotação baixa em velocidade 1 (lenta). A ordem de mistura foi aquele recomendado pelo fabricante bem como a quantidade de 85% e 15% de água. As argamassas foram preparadas em sala climatizada, onde normalmente a temperatura estava em torno de 23°C.

Todas as argamassas remanescentes eram mantidas em recipientes cobertos até o próximo tempo de ensaio das mesmas propriedades do tempo 0 h. Como a consistência aumenta com o tempo e a plasticidade diminui, após 8 horas da confecção das argamassas, acrescentava-se água e homogeneizava-se manualmente a mistura com auxílio de uma espátula para que a argamassa

obtivesse a mesma faixa de trabalhabilidade no GTec Teste, e então partia-se para os mesmos ensaios. Repetia-se os mesmos procedimentos 32 horas após a confecção das argamassas.

Os resultados obtidos no estudo piloto são mostrados nas tabelas 13, 14 e 15.

Tabela 13 – Resultados do estudo piloto do Traço 1:4.

1:4	Tempo →	0 h	8 h	32 h
0,27% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	16%	15%	8%
	GTec Teste	16 mm	18 mm	18 mm
		2 golpes	6 golpes	11 golpes
	7 dias	10,98 MPa	-	11,77 MPa
	7 dias	3,89 MPa	-	-
	28 dias	10,35 MPa	-	9,77 MPa
	28 dias	12,81 MPa	-	-
	a/c	0,65	0,69	0,76
0,37% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	15%	13%	10%
	GTec Teste	18 mm	18 mm	18 mm
		5 golpes	8 golpes	9 golpes
	7 dias	4,33 MPa	-	11,37 MPa
	7 dias	8,75 MPa	-	-
	28 dias	12,61 MPa	-	13,10 MPa
	28 dias	12,73 MPa	-	-
	a/c	0,61	0,65	0,69
0,47% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	14%	12%
	GTec Teste	16 mm	18 mm	18 mm
		3 golpes	7 golpes	10 golpes
	7 dias	4,18 MPa	-	11,09 MPa
	7 dias	4,68 MPa	-	-
	28 dias	9,89 MPa	-	13,20 MPa
	28 dias	11,66 MPa	-	-
	a/c	0,61	0,67	0,75

Tabela 14 – Resultados do estudo piloto do Traço 1:5,5.

1:5,5	Tempo →	0 h	8 h	32 h
0,27% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	21%	16%	12%
	GTec Teste	15 mm	16 mm	18 mm
		2 golpes	9 golpes	12 golpes
	7 dias	0,94 MPa	-	-
	7 dias	2,59 MPa	-	-
	28 dias	6,27 MPa	-	3,43 MPa
	28 dias	2,66 MPa	-	-
a/c	0,78	0,83	0,91	
0,37% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	15%	10%
	GTec Teste	15 mm	15 mm	18 mm
		1 golpe	6 golpes	10 golpes
	7 dias	3,40 MPa	-	4,12 MPa
	7 dias	2,66 MPa	-	-
	28 dias	2,87 MPa	-	5,22 MPa
	28 dias	3,53 MPa	-	-
a/c	0,78	0,83	1,00	
0,47% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	18%	16%	10%
	GTec Teste	16 mm	16 mm	17 mm
		3 golpes	8 golpes	8 golpes
	7 dias	5,97 MPa	-	5,63MPa
	7 dias	6,88 MPa	-	-
	28 dias	8,61 MPa	-	5,78 MPa
	28 dias	7,76 MPa	-	-
a/c	0,77	0,82	0,98	

Tabela 15 – Resultados do estudo piloto do Traço 1:7.

1:7	Tempo →	0 h	8 h	32 h
0,27% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	18%	10%	9%
	GTec Teste	15 mm	18 mm	18 mm
		2 golpes	6 golpes	10 golpes
	7 dias	3,89 MPa	2,16 MPa	-
	7 dias	2,76 MPa	-	-
	28 dias	4,39 MPa	-	3,03 MPa
	28 dias	4,02 MPa	-	-
a/c	1,12	1,30	1,44	
0,37% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	17%	13%	11%
	GTec Teste	18 mm	18 mm	18 mm
		3 golpes	9 golpes	9 golpes
	7 dias	3,44 MPa	3,25 MPa	-
	7 dias	5,36 MPa	-	-
	28 dias	5,95 MPa	-	3,09 MPa
	28 dias	3,01 MPa	-	-
a/c	0,97	1,20	1,22	
0,47% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	14%	13%
	GTec Teste	18 mm	17 mm	18 mm
		5 golpes	8 golpes	6 golpes
	7 dias	4,57 MPa	4,76 MPa	-
	7 dias	4,27 MPa	-	-
	28 dias	3,58 MPa	-	3,04 MPa
	28 dias	3,58 MPa	-	-
a/c	0,88	1,17	1,19	

As argamassas com 0,47% de aditivo incorporador de ar dos traços 1:4, 1:5,5 e 1:7 foram novamente confeccionadas, pois apresentaram variações e inconsistências nos resultados de resistência à compressão. Os ensaios GTec Teste, massa específica e resistência à compressão foram repetidos, sendo apresentados os valores na tabela 16 abaixo.

Tabela 16 - Resultados da repetição do estudo piloto dos Traços 1:4; 1:5,5 e 1:7 com 0,47% de aditivo incorporador de ar e 0,80% de aditivo estabilizador de hidratação.

1:4	Tempo →	0 h	8 h	32 h
0,47% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	20%	16%	10%
	GTec Teste	18 mm	17 mm	18 mm
		6 golpes	11 golpes	9 golpes
	14 dias	9,77 MPa	-	-
	14 dias	12,61 MPa	-	-
	28 dias	13,92 MPa	-	8,07 MPa
	28 dias	14,75 MPa	-	-
	a/c	0,62	0,65	0,70
1:5,5	Tempo →	0 h	8 h	32 h
0,47% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	20%	15%	8%
	GTec Teste	15 mm	18 mm	18 mm
		2 golpes	13 golpes	11 golpes
	14 dias	9,99 MPa	-	4,74 MPa
	14 dias	7,93 MPa	-	-
	28 dias	7,69 MPa	-	3,56 MPa
	28 dias	6,72 MPa	-	-
	a/c	0,83	0,88	0,96
1:7	Tempo →	0 h	8 h	32 h
0,47% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	11%	10%
	GTec Teste	16 mm	18 mm	15 mm
		4 golpes	10 golpes	6 golpes
	14 dias	4,68 MPa	-	3,92 MPa
	14 dias	3,71 MPa	-	-
	28 dias	5,52 MPa	-	2,12 MPa
	28 dias	6,55 MPa	-	-
	a/c	1,05	0,98	1,19

Após repetição dos ensaios nas argamassas, foram confeccionadas novas argamassas com uma areia mais grossa que a areia natural. Os testes foram realizados como tentativa de melhorar os resultados de resistência à

compressão, já que um dos objetivos desta pesquisa é avaliar argamassas com resistências mais elevadas.

Foram confeccionadas argamassas no traço 1:5,5 com 100% da areia mais grossa, nomeada neste estudo como C2-100%, e argamassas com 50% da areia mais grossa e 50% da areia natural dos estudos iniciais. As argamassas produzidas apresentaram teor de 18% de ar incorporado e como resultado do GTec Teste valores iniciais de 16 a 18 mm e número de golpes de 4 a 5.

Fez-se moldagem de corpos de prova cilíndricos de (5x10) cm, conforme a ABNT NBR 7215 (1997), e corpos de prova prismáticos de (4x4x16) cm para determinação da resistência à compressão e à flexão, como recomenda a ABNT NBR13279 (2005). Os resultados em 14 e 28 dias são apresentados nas tabelas 17 (corpos de prova cilíndricos) e 18 (corpos de prova prismáticos) respectivamente.

Tabela 17 – Resultados das argamassas C-2 100% e C-2 50%50% em corpos de prova cilíndricos.

	Tempo →	0 h	32 h
	C2-100%	Teor de ar incorporado	18%
GTec Teste		16-18 mm	16-18 mm
		4-5 golpes	4-5 golpes
Resistência à compressão média aos 14 dias		15,30 MPa	12,85 MPa
Resistência à compressão média aos 28 dias		17,91 MPa	12,95 MPa
	Tempo	0 h	32 h
	Teor de ar incorporado	18%	18%
C2-50%50%	GTec Teste	16-18 mm	16-18 mm
		4-5 golpes	4-5 golpes
	Resistência à compressão média aos 14 dias	14,45 MPa	12,49 MPa
	Resistência à compressão média aos 28 dias	15,74 MPa	12,96 MPa

Tabela 18 - Resultados das argamassas C-2 100% e C-2 50%50% em corpos de prova prismáticos.

C2-100%	Tempo →	0 h
	Teor de ar incorporado	18%
	GTec Teste	16-18 mm
		4-5 golpes
	Resistência à tração na flexão média aos 14 dias	5,08 MPa
	Resistência à compressão média aos 14 dias	14,61 MPa
	Resistência à tração na flexão média aos 28 dias	8,22 MPa
Resistência à compressão média aos 28 dias	22,11 MPa	
C2-50%50%	Tempo →	0 h
	Teor de ar incorporado	18%
	GTec Teste	16-18 mm
		4-5 golpes
	Resistência à tração na flexão média aos 14 dias	4,89 MPa
	Resistência à compressão média aos 14 dias	13,11 MPa
	Resistência à tração na flexão média aos 28 dias	8,54 MPa
Resistência à compressão média aos 28 dias	21,16 MPa	

4.3. METODOLOGIA DE DOSAGEM

A metodologia aqui apresentada é dividida em duas partes. A primeira se concentra em explicar a metodologia de dosagem de argamassa estabilizada e suas etapas; posteriormente são apresentados os materiais selecionados para o desenvolvimento do método de dosagem assim como suas caracterizações. O anexo 9 mostra um fluxograma da metodologia de dosagem na figura 69, com um resumo das etapas do desenvolvimento da dosagem.

4.3.1. Métodos

Com base na revisão da bibliografia e nos resultados obtidos nos estudos piloto apresentados, foi elaborada uma proposta de método de dosagem para argamassa estabilizada para assentamento de bloco de concreto.

Este método busca simplificar e sistematizar o trabalho de tecnologistas na obtenção de traços que atendam simultaneamente os requisitos mínimos de desempenho, tanto no estado fresco (consistência, plasticidade, coesão e

adesão inicial) quanto endurecido (resistência à compressão, tração na flexão e aderência no substrato). Para isto, têm-se as seguintes etapas:

Figura 13 – Etapa 1: seleção dos materiais constituintes e estudo piloto para determinação da proporção ideal entre as areias.



4.3.1.1. Seleção dos materiais constituintes

Em função da disponibilidade do mercado local, foram selecionados dois agregados miúdos, cimento Portland CPIV, aditivo incorporador de ar e aditivo estabilizador de hidratação, com uso consagrado na produção de argamassas estabilizadas.

4.3.1.2. Estudo piloto para determinação da proporção ideal entre as areias

Uma vez que se pretende com o método estabelecer uma curva de dosagem, foram testadas misturas com diferentes traços (cimento:areia) para que se pudesse atingir resistências distintas. Em função dos resultados experimentais obtidos nos estudos anteriores realizados, foram testados os traços 1:4, 1:5,5 e 1:7. Essa faixa cobre as composições hoje empregadas no mercado e são capazes de gerar resistência da ordem de 4 a 16 MPa.

Como em cada traço, o volume de pasta é distinto, a argamassa 1:4 tende a ser mais deformável no estado fresco e por isso, teoricamente, pode precisar de um agregado mais grosso para que possa sustentar não só o peso do bloco mas também de uma sucessão de fiadas que serão assentadas sobre ele num curso espaço de tempo. Assim sendo, para cada traço, foi determinada a mistura ideal entre os agregados miúdos capaz de resistir esta carga sem uma deformação excessiva das juntas e que priorizasse o uso mais intensivo de areia fina para que o processo de assentamento não fosse prejudicado. Desta forma, para cada traço, foram testadas misturas de areia com módulo de finura crescente de 1,5, 1,7 e 1,9.

Em uma argamassadeira, produziu-se uma mistura com volume de 1,5 a 2 litros, utilizando-se um teor de aditivo considerado médio de 0,37% de incorporador de ar e 0,8% de estabilizador de hidratação) para cada um dos traços testados. Após acertar-se a quantidade de água para ajuste dos parâmetros do GTec Teste (com consistência entre 15 e 18 mm e plasticidade entre 4 e 12 golpes), antes de utilizar a argamassa no assentamento, foi determinado o teor de ar incorporado entre 18 e 22%.

No caso do teste com o traço 1:7, para a confecção de prismas de alvenaria para a medida da deformação das juntas, foram utilizados blocos de concreto com fbk de 4 MPa, de baixa resistência e mais alta absorção. Para os testes com as argamassas de traço 1:5,5, o fbk dos blocos foi de 8 MPa e para o caso das argamassas de 1:4, blocos de 14 MPa foram utilizados.

Com isto, a princípio, 9 prismas de 2 fiadas foram ser construídos (3 para cada traço). Antes do assentamento, procedeu-se um teste de adesão inicial. As argamassas confeccionadas eram aprovadas no teste quando o filete utilizado no encabeçamento no bloco soltava em tempo superior a 5 segundos quando o bloco estava na posição de assentamento.

No caso em que a argamassa não fosse aprovada no teste (filete utilizado no encabeçamento no bloco soltar em menos que 5 segundos quando o bloco estiver na posição de assentamento) esta argamassa deveria ser considerada inadequada e não deveria ser testada no ensaio descrito na seqüência. Caso a ferramenta de assentamento fosse a bisnaga, também deveria

ser realizado um teste para verificar se a trabalhabilidade da argamassa adequada para o seu uso.

O ensaio de deformabilidade da junta foi executado conforme o procedimento a seguir descrito e ilustrado na Figura 14.

Após assentamento do bloco superior do prisma, foram fixadas peças metálicas com cola de endurecimento rápido e, com paquímetro, media-se a distância inicial como base de medida de deformação, como ilustra a figura 15.

Figura 14 – Medida da deformabilidade.



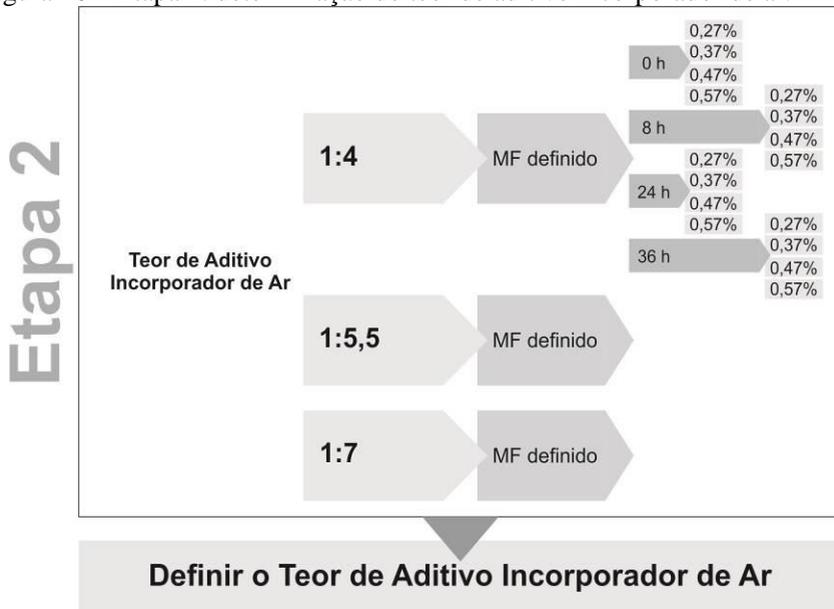
A cada trinta minutos, era posicionado sobre o prisma um bloco de concreto para simular a carga do assentamento de uma nova fiada e realizada a medida da deformação correspondente até um total de 6 blocos, como mostra a figura 15. As argamassas foram consideradas aceitáveis pois as juntas sofreram deformações total ao final do ensaio inferior a 1 mm.

Figura 15 – Simulação da carga de assentamento como medida da deformabilidade.



Para cada traço, foi considerada a proporção ideal entre as areias aquela com menor módulo de finura que atendesse ao requisito do ensaio de deformabilidade. A figura 16 mostra a etapa 2 seguinte.

Figura 16 – Etapa 2: determinação do teor de aditivo incorporador de ar.

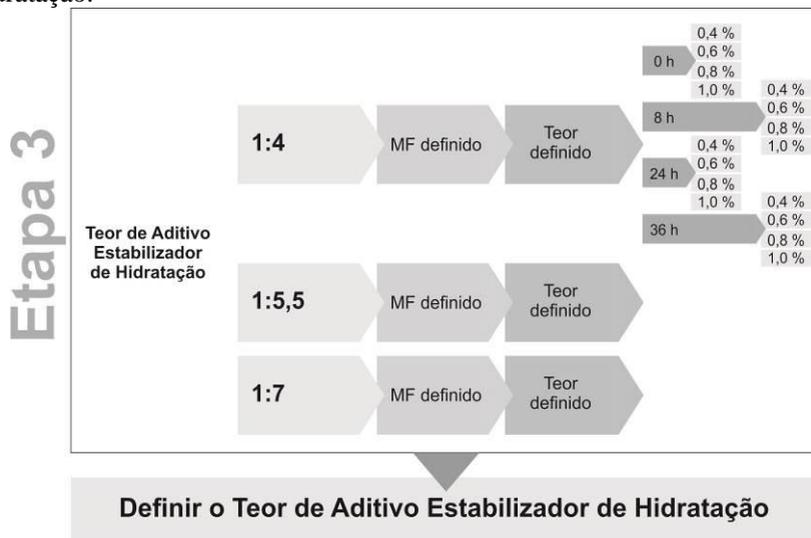


4.3.1.3. Determinação do teor ideal de aditivo incorporador de ar

Uma vez estabelecida a proporção ideal entre as areias para cada traço, foram produzidas em argamassadeira, misturas de 1,5 a 2 litros variando o teor de aditivo incorporador de ar (0,27; 0,37; 0,47 e 0,57%), esquematizados na figura 17. Neste estudo, o teor de aditivo estabilizador permaneceu constante (0,8%). Após a mistura e ajuste da quantidade da água para acerto da trabalhabilidade pelo GTec teste, realizou-se a determinação do teor de ar incorporado (método gravimétrico) que deveria estar entre 18 e 22%. Armazenou-se a argamassa em recipiente plástico fechado e após 8 horas, foi ajustada a trabalhabilidade com água (GTec teste) e medido novamente o teor de ar incorporado. O procedimento foi repetido às 24 e 36 horas.

O teor de aditivo ideal foi o mínimo possível que garantisse um teor de ar incorporado superior a 15% com 8 horas, 12% com 24 horas e 8% com 36 horas, com base nos resultados observados nos estudos piloto.

Figura 17 – Etapa 3: determinação do teor de aditivo estabilizador de hidratação.



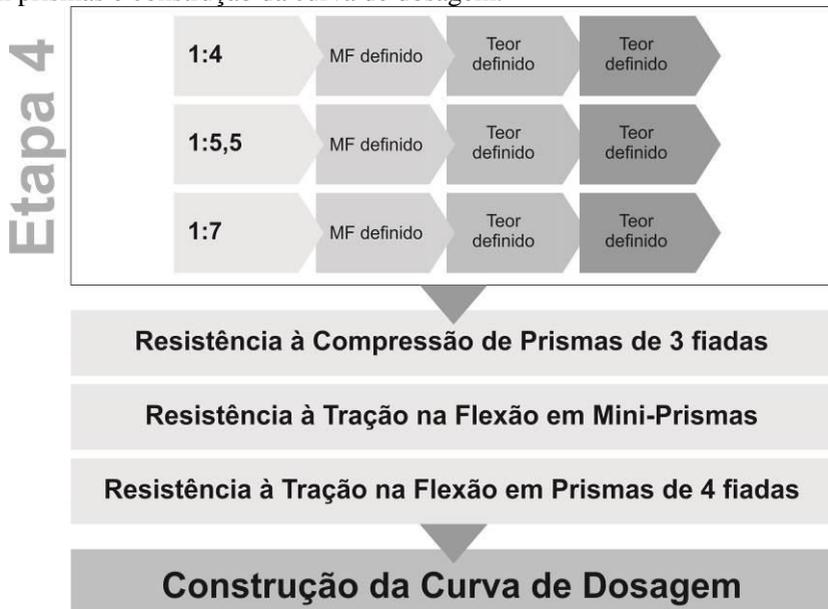
4.3.1.4. Determinação do teor ideal de aditivo estabilizador de hidratação

Nesta etapa do procedimento, para cada traço contendo a proporção ideal entre areias e teor ideal de aditivo incorporador de ar, foram preparadas misturas variando-se o teor de aditivo estabilizador de hidratação: 0,4, 0,6, 0,8 e 1%. A figura 17 mostra esta etapa.

Em cada caso, foram preparadas em argamassadeira, 3 misturas de 1,5 a 2 litros para a determinação da água de ajuste, do ar incorporado. Para o estado endurecido, foram determinadas a resistência à compressão e tração na flexão para as idades inicial, 24 e 36 horas. Foram adotados corpos de prova prismáticos que mostraram nos estudos piloto menor variabilidade do que o ensaio em corpos de prova cilíndricos.

O teor de aditivo considerado ideal foi o mínimo que garantiu a estabilização pelo tempo de utilização desejado (24 horas), ou seja, é possível uma restauração da trabalhabilidade com a adição de água e não existe um prejuízo da resistência aos 28 dias.

Figura 18 – Etapa 4: estudo da resistência à compressão em prismas, resistência à tração na flexão em mini-prismas, resistência à tração na flexão em prismas e construção da curva de dosagem.



4.3.1.5. Estudo da resistência à compressão em prismas

Com os traços finais 1:4, 1:5,5 e 1,7 contendo as proporções de areia e teores de aditivo otimizados, foram confeccionadas misturas para o ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade em prismas de alvenaria de 3 fiadas. Para cada traço, foram utilizados os blocos com resistência à compressão seguindo as recomendações apontadas na etapa de definição da proporção entre as areias.

Em cada caso, foram produzidos 15 litros de mistura para a confecção de 4 prismas logo após a confecção da argamassa e 4 prismas com argamassa após 24 horas conforme o tempo desejado de estabilização. Paralelamente, foram determinados o teor de ar incorporado e resistência à compressão e tração na flexão a 28 dias para as duas idades de utilização.

Após 28 dias, foram ensaiados os prismas para determinação do fator de eficiência e mecanismo de ruptura.

As figuras 19, 20, e 21 mostram a confecção/moldagem dos prismas de 3 fiadas logo após a confecção das argamassas, ou seja, no tempo inicial, e após 24 horas.

Figura 19 – Moldagem dos prismas de 3 fiadas no tempo inicial.



Figura 20 – Prismas de 3 fiadas no tempo inicial.



Figura 21 – Prismas de 3 fiadas no tempo de utilização (24 horas).

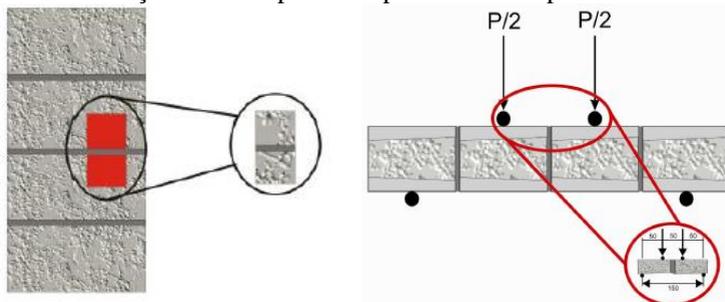


4.3.1.6. Estudo da resistência à tração na flexão em mini-prismas

Da mesma forma que na etapa anterior, com os traços finais 1:4, 1:5,5 e 1,7 contendo as proporções de areia e teores de aditivo otimizados, foram confeccionadas misturas para o ensaio de resistência à tração na flexão em mini-prismas de alvenaria. Para cada traço, foram utilizados segmentos de blocos com resistência à compressão seguindo as recomendações apontadas na

etapa b. A figura 22 apresenta a localização do mini-prisma na representação de um prisma de alvenaria.

Figura 22 – Localização do mini-prisma representado no prisma.



FONTE: Casali, 2008.

Realizou-se o teste de capilaridade em cada uma das peças (segmentos de blocos de concreto) para que pudessem ser separadas conforme absorção de água. As peças foram separadas em face inferior (fina) e face superior (grossa) e ensaiadas nos tempos 1, 5, 10, 15, 30, 60, 90 e 120 minutos, com uma lâmina de água profundidade de 5 ± 5 mm.

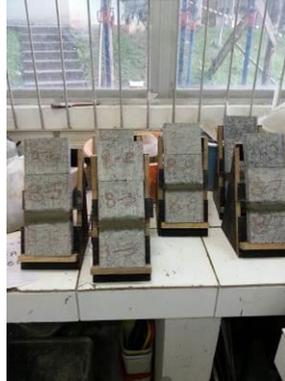
Em cada caso, foram produzidos 4 litros de mistura para a confecção de 6 mini-prismas logo após a confecção da argamassa e 6 mini-prismas com argamassa após 24 horas conforme o tempo desejado de utilização. Paralelamente, foram determinados o teor de ar incorporado e resistência à compressão e tração na flexão a 28 dias para os dois tempos de utilização.

Houve preocupação com a compactação da junta no momento do assentamento dos mini-prismas, já que, na prática, a junta é submetida pelo menos ao peso de um bloco. Dessa maneira, algumas peças seccionadas foram utilizadas como sobrepesos, simulando o assentamento dos blocos de concreto. A figura 23 mostra os mini-prismas logo após confecção.

Figura 23 – Mini-prismas de concreto: (a) mini-prisma de blocos de 14 MPa e (b) mini-prismas de blocos de 8 MPa.



(a) mini-prisma de blocos de 14 MPa



(b) mini-prismas de blocos de 8 MPa

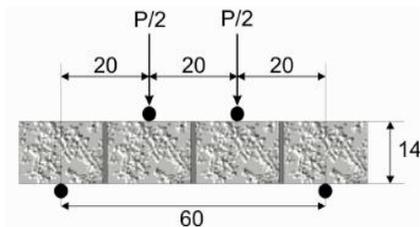
Após 28 dias, foram ensaiados os mini-prismas para determinação da resistência à tração na flexão.

4.3.1.7. Estudo da resistência à tração na flexão em prismas

Finalmente, para confirmação dos resultados da etapa anterior, com os traços finais 1:4, 1:5,5 e 1,7 contendo as proporções de areia e teores de aditivo otimizados, foram confeccionadas misturas para o ensaio de resistência à tração na flexão em prismas de alvenaria de 4 fiadas (figura 24). Para cada traço, foram utilizados blocos com resistência à compressão seguindo as recomendações apontadas na etapa de definição da proporção entre as areias.

Em cada caso, foram produzidos 10 litros de mistura para a confecção de 4 prismas logo após a confecção da argamassa e 4 prismas com argamassa após 24 horas conforme o tempo desejado de utilização. Paralelamente, foram determinados o teor de ar incorporado e resistência à compressão e tração na flexão para os dois tempos de utilização. Após 28 dias, foram ensaiados os prismas para determinação da resistência à tração na flexão.

Figura 24 – Configuração do ensaio de tração na flexão em prismas de alvenaria.



A figura 25 mostra os prismas de quatro fiadas para ensaio de tração na flexão: (a) moldagem; (b) armazenamento; (c) transporte; (d) posicionamento horizontal; (e) ensaio no tempo inicial (0h); (f) ensaio no tempo de utilização (24 horas).

Figura 25 – Configuração do ensaio de tração na flexão em prismas de alvenaria.



(a) Moldagem dos prismas.



(b) Armazenamento dos prismas.



(c) Transporte dos prismas.



(d) Posicionamento horizontal.



(e) Ensaio (tempo inicial).

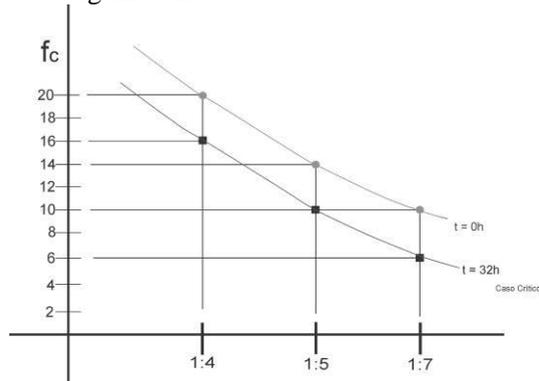


(f) Ensaio no tempo de utilização.

4.3.1.8. Construção da curva de dosagem

Com os dados obtidos de resistência à compressão das argamassas e fatores de eficiência dos prismas, foram construídas curvas de dosagem para, por interpolação, definir os traços finais para diferentes resistências à compressão de argamassa e diferentes resistência de prismas especificados em projeto (figura 26). Na maioria dos casos, a resistência à tração na flexão é superior aos valores preconizados pela normalização brasileira.

Figura 26 – Curva de dosagem teórica.



4.3.2. Materiais

Esse tópico trata dos materiais empregados para desenvolvimento do método de dosagem proposto e suas principais caracterizações, e está dividido em: blocos de concreto, e materiais constituintes das argamassas estabilizadas.

Para confecção dos prismas com argamassas de traço 1:7, foram utilizados blocos de concreto com fbk de 4 MPa. No caso dos testes com argamassas de traço 1:5,5, o fbk dos blocos foi de 8 MPa. E para argamassas de traço 1:4, foram utilizados blocos com fbk de 14 MPa, como prevê a metodologia proposta.

Para confecção das argamassas estabilizadas, foram empregados os seguintes materiais: cimento Portland pozolânico CP IV 32 RS; agregado miúdo de origem natural com duas granulometrias distintas, compatíveis com os utilizados em argamassas de assentamento; aditivo estabilizador de hidratação e aditivo incorporador de ar; e água. Os materiais foram escolhidos por serem usualmente empregados na formulação das argamassas estabilizadas e adquiridos com facilidade na região da Grande Florianópolis.

A caracterização dos materiais que foram empregados é apresentada a seguir.

4.3.2.1. Bloco de concreto

As unidades utilizadas foram blocos de concreto vazados com dimensões de 14 x 19 x 39 cm (largura x altura x comprimento), constituídos por faces finas ou inferiores de aproximadamente 2,5 cm, e de faces grossas ou superiores com aproximadamente 3,0 cm de espessura. A diferença entre faces pode ser observada nas figuras 27, 28 e 29.

Figura 27 – Faces dos blocos de concreto: grossa (superior) e fina (inferior).



Figura 28 – Geometria dos blocos de concreto: face fina (inferior).

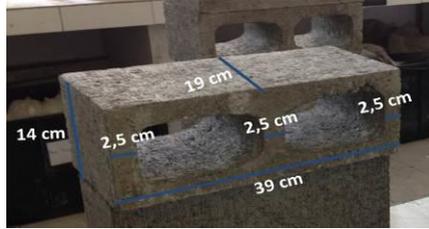
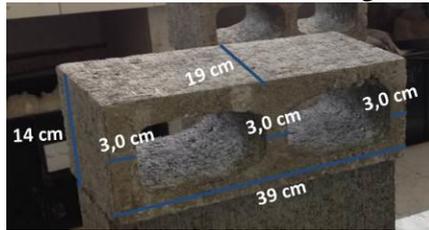


Figura 29 – Geometria dos blocos de concreto: face grossa (superior).



Os blocos de concreto foram retirados dos paletes e alguns blocos foram levados ao laboratório, onde procedeu-se à pesagem, capeamento e rompimento. Os blocos de concreto de fbk de 4 MPa apresentaram uma massa média de 12,46 Kg, blocos de fbk de 8 MPa apresentaram massa média de 12,96 Kg, e os blocos de fbk de 14 MPa uma massa média de 13,86 Kg. A absorção foi medida conforme prescreve a NBR 12118(2011), e os blocos de concreto obtiveram uma absorção média de 6,5%. A caracterização dos blocos de concreto pode ser observada na Tabela 19.

Tabela 19 – Caracterização dos blocos de concreto utilizados.

	Bloco de concreto		
	4 MPa	8 MPa	14 MPa
Área bruta média (cm ²)	546,00		
Área líquida média face superior (cm ²)	322,56		
Área líquida média face inferior (cm ²)	293,00		
Altura média (cm)	19,10		
Absorção média dos blocos (%)NBR 12118 (2011)	6,85	6,52	6,18
Resistência à compressão média dos blocos	7,70	14,45	22,80
Massa média dos blocos (Kg)	12,46	12,96	13,86

Após esse procedimento, verificou-se que os blocos de concreto apresentaram as características desejadas para os ensaios deste programa experimental.

Nove blocos de concreto de cada tipo foram seccionados em oito partes para moldagem dos mini-prismas para cada uma das argamassas definidas na curva de dosagem.

4.3.2.2. Cimento Portland

Foi empregado para desenvolvimento deste trabalho cimento Portland pozolânico CP IV 32 RS Votoran da fábrica de Itajaí, fabricado pela Votorantim. As características físicas e químicas do cimento empregado são apresentadas na Tabela 20 abaixo.

Tabela 20 – Características físicas e químicas do cimento CP IV 32 RS empregado.

Características	Média	Desvio Padrão
Passante #200 (%)	0,54	0,05
Passante #325 (%)	2,69	0,18
Blaine (cm ² /g)	4355	32,07
Início de pega (minutos)	256	11,07
Fim de pega (minutos)	324	12,39
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	26,03	1,25
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	31,23	0,97
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	40,83	1,03
Massa específica (kg/dm ³)	2,86	-
Perda ao fogo (%)	3,17	0,19
Resíduo insolúvel (%)	25,90	1,00
MgO (%)	5,01	0,08
SO ₃ (%)	2,61	0,13

FONTE: Votorantim Cimentos (2016).

4.3.2.3. Agregado miúdo

Foram selecionadas para este trabalho duas areias naturais compatíveis com as utilizados em argamassas de assentamento, comumente empregadas na região da Grande Florianópolis: uma areia com módulo de finura entre 1 e 1,4

e uma areia com módulo de finura entre 2 e 3, como previa o estudo piloto de proporção ideal entre as areias (etapa b do método de dosagem, item 4.3.1.2).

Optou-se pela utilização de uma composição de areias, para sustentar uma sucessão de fiadas assentadas num curso espaço de tempo, sem uma deformação excessiva das juntas, e que priorizasse o uso mais intensivo de areia fina para que o processo de assentamento não fosse prejudicado. A composição das areias utilizadas no trabalho está contemplada na etapa b deste estudo de dosagem.

A caracterização foi feita através da realização de ensaios prescritos pelas normas brasileiras. Na tabela 21 estão resumidas as características das areias empregadas, como: módulo de finura, material pulverulento e massa específica. Os resultados dos ensaios realizados em amostra das areias utilizadas nas argamassas estabilizadas são apresentados nas tabelas 22 e 23 e na figura 30.

Tabela 21 – Caracterização das areias utilizadas neste trabalho.

Propriedade	Norma	Areia 1	Areia 2
Módulo de finura	NBR 7217	1,48	3,05
Material pulverulento (%)	NBR 7219	0,24	0,85
Massa específica (g/cm ³)	NBR 9776	2,60	2,63

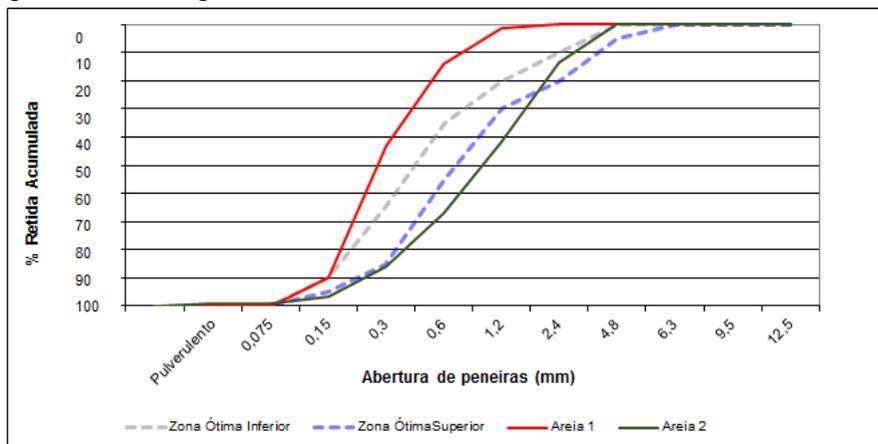
Tabela 22 – Distribuição granulométrica da areia 1.

#	Massa (g)	% Acum.
12,5	0,0	0%
9,5	0,0	0%
6,3	0,0	0%
4,8	0,0	0%
2,4	0,0	0%
1,2	6,2	1%
0,6	65,6	14%
0,3	147,3	43%
0,15	237,9	90%
0,075	51,0	100%
Fundo	1,2	100%
Σ	509,2	148%

Tabela 23 – Distribuição granulométrica da areia 2.

#	Massa (g)	% Acum.
12,5	0,0	0%
9,5	0,0	0%
6,3	0,0	0%
4,8	0,0	0%
2,4	66,9	14%
1,2	139,8	42%
0,6	123,6	67%
0,3	92,4	86%
0,15	54,6	97%
0,075	11,6	99%
Fundo	4,2	100,0%
Σ	493,1	305%

Figura 30 – Curva granulométrica das areias 1 e 2 utilizadas neste trabalho.



4.3.2.4. Aditivos

Foram empregados neste trabalho aditivo retardador estabilizador de hidratação e aditivo incorporador de ar, ambos fornecidos pela BASF e caracterizados na Tabela 24.

O aditivo retardador estabilizador de hidratação foi empregado em função do tempo de utilização da argamassa na obra avaliando teor limite para que o desempenho do material não fosse prejudicado, e o aditivo incorporador de ar, definindo a faixa ideal de teor de ar nas argamassas estabilizadas.

Tabela 24 – Propriedades físico químicas dos aditivos RHEOMIX® 701 M e RHEOMIX® 702.

Aditivo RHEOMIX® 701 M		Aditivo RHEOMIX® 702	
Estado físico	Líquido	Estado físico	Líquido
Cor	Avermelhado	Cor	Amarelado
Massa específica	1,00 - 1,04 g/cm ³	Massa específica	1,16 - 1,20 g/cm ³

FONTE: BASF (2016).

4.3.2.5. Água

A água utilizada na confecção de argamassas foi da rede de abastecimento da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no estudo definitivo descrito no programa experimental desta dissertação. A apresentação dos resultados se dá conforme sequência das etapas da metodologia de dosagem.

5.1. Estudo piloto para determinação da proporção ideal entre as areias (etapa b)

Para cada traço, 1:4, 1:5,5 e 1:7, as misturas de areia foram testadas com módulo de finura crescente de 1,5, 1,6 e 1,9, de modo a determinar-se a proporção ideal entre os agregados, priorizando uso da areia mais fina, como explanado no programa experimental. As argamassas foram aprovadas no teste de adesão inicial e consideradas adequadas. Desta forma, foram testadas no ensaio de deformabilidade da junta.

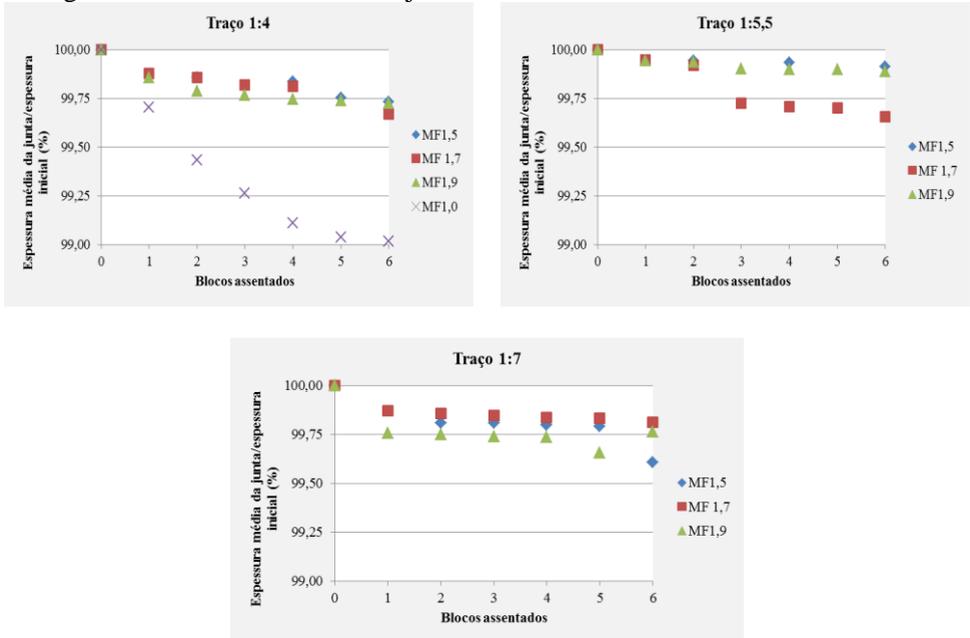
A tabela 25 mostra os resultados obtidos de deformação da junta (após colocação do 6º bloco) dos dois lados dos prismas para cada traço. As argamassas foram consideradas aceitáveis, pois as juntas sofreram uma deformação total ao final do ensaio inferior a 1 mm.

Tabela 25 – Valores de deformação total da junta.

Traço 1:4				
Módulo de finura	1,5	1,7	1,9	1,0
lado 1	0,35 mm	0,74 mm	0,35 mm	1,66 mm
lado 2	0,69 mm	0,55 mm	0,46 mm	1,08 mm
média	0,52 mm	0,65 mm	0,41 mm	1,37 mm
Traço 1:5,5				
Módulo de finura	1,5	1,7	1,9	
lado 1	0,16 mm	0,54 mm	0,20 mm	
lado 2	0,28 mm	0,40 mm	0,10 mm	
média	0,22 mm	0,47 mm	0,15 mm	
Traço 1:7				
Módulo de finura	1,5	1,7	1,9	
lado 1	0,57 mm	0,13 mm	0,17 mm	
lado 2	0,55 mm	0,41 mm	0,50 mm	
média	0,56 mm	0,27 mm	0,34 mm	

Na figura 31 observam-se as espessuras das juntas em relação à espessura da junta inicial conforme a variação de blocos assentados. Os valores estão em percentagem considerando-se a espessura inicial média da junta como referencial. Observa-se que para o traço 1:4 testou-se uma argamassa com módulo de finura igual a 1,0, com uma areia muito fina. As juntas sofreram deformação total de 1,66 mm e 1,08 mm, validando a hipótese da metodologia.

Figura 31 – Deformabilidade da junta fresca.



Nota-se que, como os valores obtidos para os três traços ficaram abaixo do limite de deformação. Isso levantou uma questão se realmente a diminuição do módulo de finura da areia realmente influenciaria a deformabilidade da junta conforme a hipótese levantada no método de dosagem. Para dirimir a dúvida, testou-se uma argamassa com módulo de finura igual a 1,0, com uma areia muito fina. Neste caso, as juntas sofreram deformação total de 1,66 mm e 1,08 mm, validando a hipótese da metodologia.

Como o objetivo era considerar a proporção ideal entre as areias com menor módulo de finura que atendessem o requisito do ensaio de deformabilidade, a proporção entre as areias ficou definida com módulo de

finura 1,5 para os três traços. No Anexo 1 são apresentados todos os resultados deste ensaio.

5.2. Determinação do teor ideal de aditivo incorporador de ar (etapa c)

Para determinação do teor ideal de aditivo incorporador de ar, foram produzidas argamassas com módulo de finura 1,5 estabelecido no item anterior, e aditivo estabilizador de hidratação constante de 0,8%, conforme recomendação do fabricante. Foram testadas argamassas com aditivo incorporador de ar nos teores de 0,27, 0,37, 0,47 e 0,57% para cada traço. A quantidade de água foi acertada pela trabalhabilidade no GTec Teste e o teor de ar incorporado determinado pelo método gravimétrico.

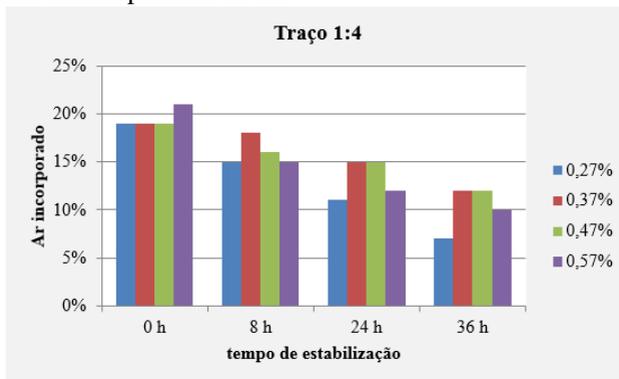
As argamassas produzidas nos diferentes teores de aditivo incorporador de ar foram armazenadas em recipiente plástico, e após 8 horas, procedeu-se para ajuste da trabalhabilidade com água (verificada pelo GTec Teste). O mesmo procedimento foi repetido às 24 e 36 horas. A tabela 26 mostra os resultados de teor de ar incorporado nas argamassas para o traço 1:4.

Tabela 26 – Resultados de teor de ar incorporado para o traço 1:4.

1:4 (etapa c)	Tempo →	0 h	8 h	24 h	36 h
0,27% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	15%	11%	7%
	GTec Teste	15 mm	16 mm	15 mm	16 mm
		4 golpes	6 golpes	8 golpes	8 golpes
	a/c	0,47	0,57	0,70	0,82
H	9,36%	11,31%	13,93%	16,47%	
0,37% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	18%	15%	12%
	GTec Teste	18 mm	16 mm	15 mm	15 mm
		6 golpes	6 golpes	6 golpes	6 golpes
	a/c	0,41	0,51	0,62	0,65
H	8,30%	10,27%	12,46%	13,00%	
0,47% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	16%	15%	12%
	GTec Teste	16 mm	17 mm	16 mm	16 mm
		4 golpes	8 golpes	7 golpes	6 golpes
	a/c	0,41	0,49	0,75	0,77
H	8,10%	9,77%	15,05%	15,50%	

0,57% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	21%	15%	12%	10%
	GTec Teste	16 mm	15 mm	16 mm	16 mm
		4 golpes	5 golpes	7 golpes	7 golpes
	a/c	0,42	0,50	0,70	0,72
H	8,30%	9,97%	13,99%	14,32%	

Figura 32 – Teores de ar incorporado das argamassas do traço 1:4 em função dos teores de aditivo incorporador de ar.



Na figura 32 pode-se visualizar o teor de ar incorporado nas argamassas nos tempos de utilização do traço 1:4, variando o teor de aditivo incorporador de ar. Nota-se que o teor de aditivo 0,37% é o menor teor avaliado que garante teor de ar superior a 15% com 8 horas, 12% com 24 horas e 8% com 36 horas, valores estabelecidos no programa experimental.

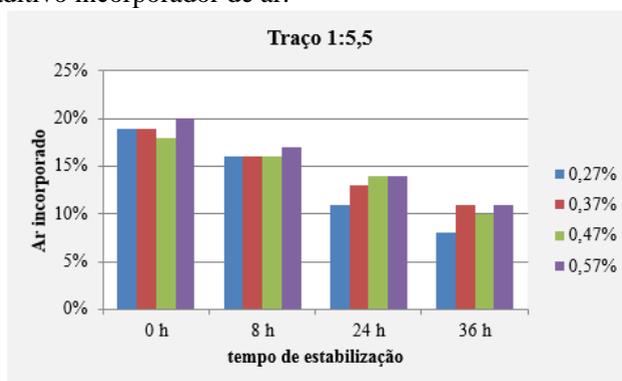
A tabela 27 mostra os resultados de teor de ar incorporado nas argamassas para o traço 1:5,5.

Tabela 27 – Resultados de teor de ar incorporado para o traço 1:5,5.

1:5,5 (etapa c)	Tempo →	0 h	8 h	24 h	36 h
0,27% incorporador de ar 0,80% estabilizador	Teor de ar incorporado	19%	16%	11%	8%
	GTec Teste	16 mm	18 mm	16 mm	16 mm
		4 golpes	7 golpes	6 golpes	6 golpes
	a/c	0,44	0,58	0,73	0,78

de hidratação	H	6,78%	8,92%	11,23%	12,08%
0,37% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	16%	13%	11%
	GTec Teste	15 mm	17 mm	16 mm	15 mm
		4 golpes	8 golpes	6 golpes	5 golpes
	a/c	0,41	0,53	0,69	0,73
H		6,37%	8,20%	10,59%	11,22%
0,47% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	18%	16%	14%	10%
	GTec Teste	15 mm	16 mm	15 mm	16 mm
		4 golpes	5 golpes	6 golpes	6 golpes
	a/c	0,42	0,53	0,63	0,66
H		6,44%	8,19%	9,63%	10,10%
0,57% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	20%	17%	14%	11%
	GTec Teste	15 mm	17 mm	16 mm	16 mm
		4 golpes	7 golpes	6 golpes	6 golpes
	a/c	0,46	0,60	0,72	0,74
H		7,07%	9,19%	11,08%	11,32%

Figura 33 – Teores de ar incorporado das argamassas do traço 1:5,5 em função dos teores de aditivo incorporador de ar.



Percebe-se na figura 33 que o teor de aditivo 0,37% é o teor avaliado que garante os valores estabelecidos no programa experimental, apresentando 16% de ar incorporado com 8 horas, 13% com 24 horas e 11% com 36 horas.

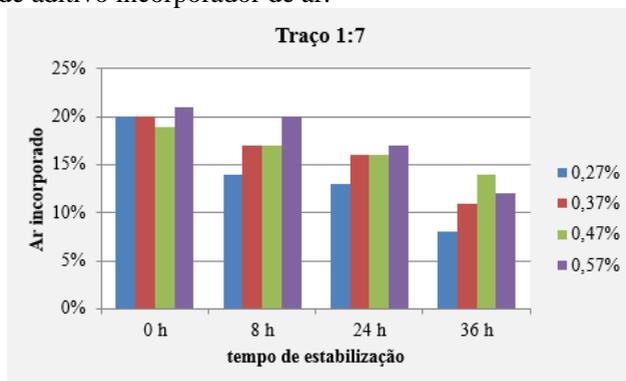
Os resultados de teor de ar incorporado nas argamassas para o traço 1:7 são apresentados na tabela 28 abaixo.

Tabela 28 – Resultados de teor de ar incorporado para o traço 1:7.

1:7 (etapa c)	Tempo →	0 h	8 h	24 h	36 h
0,27% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	20%	14%	13%	8%
	GTec Teste	18 mm	16 mm	18 mm	17 mm
		6 golpes	5 golpes	8 golpes	5 golpes
	a/c	0,82	0,97	1,06	1,25
H	10,25%	12,12%	13,25%	15,67%	
0,37% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	20%	17%	16%	11%
	GTec Teste	18 mm	15 mm	18 mm	15 mm
		6 golpes	5 golpes	8 golpes	5 golpes
	a/c	0,73	0,97	1,02	1,17
H	9,11%	12,14%	12,81%	14,62%	
0,47% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	17%	16%	14%
	GTec Teste	16 mm	15 mm	17 mm	15 mm
		5 golpes	5 golpes	6 golpes	5 golpes
	a/c	0,74	1,06	1,13	1,20
H	9,27%	13,24%	14,12%	15,02%	
0,57% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	21%	20%	17%	12%
	GTec Teste	16 mm	15 mm	16 mm	17 mm
		5 golpes	6 golpes	6 golpes	6 golpes
	a/c	0,66	0,87	0,96	1,02
H	8,30%	10,85%	12,03%	12,77%	

Na figura 34 pode-se observar o teor de ar incorporado nas argamassas nos tempos de utilização do traço 1:7 variando o teor de aditivo incorporador de ar. Nota-se que o teor de aditivo 0,37% é o menor teor que apresenta os valores mínimos estipulados no programa experimental, são eles: 17% de ar incorporado com 8 horas, 16% com 24 horas e 11% com 36 horas.

Figura 34 – Teores de ar incorporado das argamassas do traço 1:7 em função dos teores de aditivo incorporador de ar.



Avaliando-se os resultados apresentados nas tabelas para cada traço e os gráficos dos teores de ar incorporado nas argamassas em função do tempo de utilização, observou-se que o teor mínimo que garantiu um teor de ar incorporado superior a 15% com 8 horas, 12% com 24 horas e 8% com 36 horas, com base nos resultados observados nos estudos piloto e critérios estabelecidos no método de dosagem foi o teor de 0,37% para todos os traços.

5.3. Determinação do teor ideal de aditivo estabilizador de hidratação (etapa d)

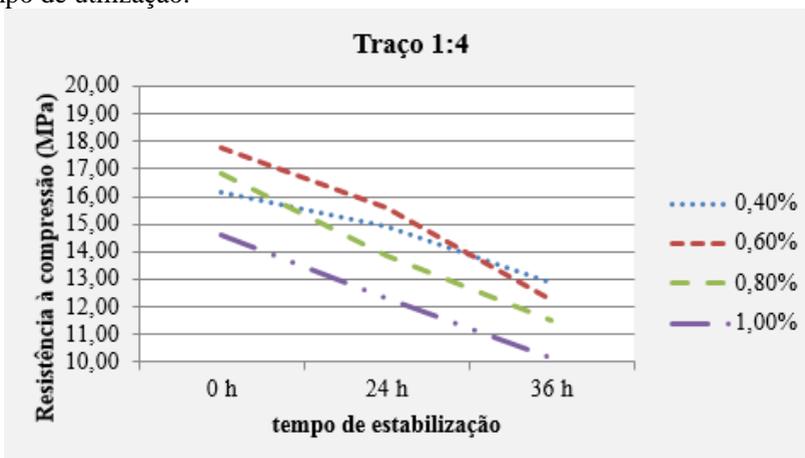
Para cada traço contendo a proporção ideal entre areias e teor ideal de aditivo incorporador de ar, foram preparadas misturas variando-se o teor de aditivo estabilizador de hidratação: 0,4, 0,6, 0,8 e 1% para determinação do teor ideal deste aditivo.

O ajuste de água foi realizado pela trabalhabilidade verificada pela GTec Teste. Foram medidos o teor de ar incorporado das argamassas e, no estado endurecido, as resistências à compressão e tração na flexão para as idades inicial (0 h), 24 e 36 horas. Para a determinação das propriedades no estado

endurecido, foram utilizados corpos de prova prismáticos que no estudo piloto mostrou menor variabilidade do que o ensaio em corpos de prova cilíndricos.

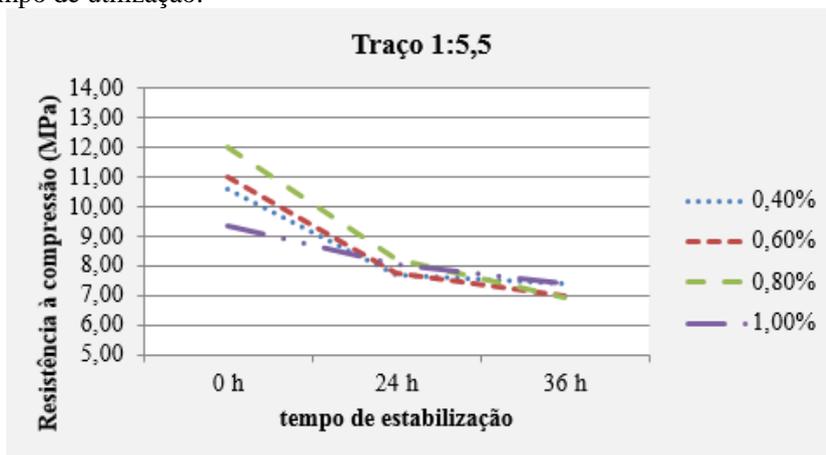
As figuras 35, 36 e 37 apresentam os valores de resistência à compressão para argamassas com diferentes teores de aditivo estabilizador de hidratação em função do tempo de utilização para os traços estudados. Os valores tabelados de trabalhabilidade, ar incorporado, relação a/c, e resistência à compressão e tração na flexão estão apresentados no Anexo 2.

Figura 35 – Valores de resistência à compressão para argamassas do Traço 1:4 com diferentes teores de aditivo estabilizador de hidratação em função do tempo de utilização.



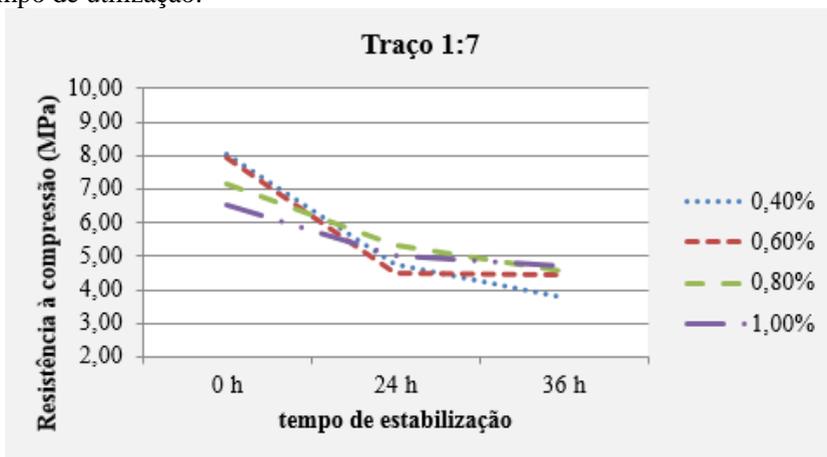
Observou-se, para traço 1:4, uma resistência à compressão média de 16,18 MPa para o tempo inicial (0h), 14,91 MPa no tempo 24 horas e 12,90 MPa para 36 horas, para as argamassas produzidas com teor de aditivo estabilizador de 0,40%. As resistências médias obtidas nas argamassas produzidas com 0,60% de aditivo estabilizador de hidratação foram de 17,77 MPa no tempo inicial, 15,61 MPa em 24 horas e 12,26 MPa em 36 horas. Já para as argamassas confeccionadas com teor de 0,8% de aditivo estabilizador de hidratação, resistências médias de 16,83 MPa no tempo inicial, 13,88MPa em 24 horas e 11,52 MPa em 36 horas foram observadas. Quando produzidas com 1,00% de aditivo estabilizador de hidratação, obteve-se como resultado resistências médias de 14,64 MPa, 12,31 MPa e 10,15 MPa nos tempos inicial (0h), 24 horas e 36 horas respectivamente.

Figura 36 – Valores de resistência à compressão para argamassas do Traço 1:5,5 com diferentes teores de aditivo estabilizador de hidratação em função do tempo de utilização.



Para o traço 1:5,5, foram obtidas nas argamassas produzidas com 0,40% de aditivo estabilizador de hidratação resistências à compressão médias de 10,61 MPa no tempo inicial, 7,71 MPa em 24 horas e 7,42 MPa em 36 horas. Obteve-se uma resistência à compressão média de 10,99 MPa para o tempo inicial, 7,78 MPa no tempo 24 horas e 6,99 MPa para 36 horas, para as argamassas produzidas com teor de aditivo estabilizador de 0,60%. Já para as argamassas confeccionadas com teor de 0,8% de aditivo estabilizador de hidratação, resistências médias de 11,99 MPa no tempo inicial, 8,23MPa em 24 horas e 6,93 MPa em 36 horas foram observadas. As resistências médias obtidas nas argamassas produzidas com 1,00% de aditivo estabilizador de hidratação foram de 9,36 MPa no tempo inicial, 8,05 MPa em 24 horas e 7,40 MPa em 36 horas.

Figura 37 – Valores de resistência à compressão para argamassas do Traço 1:7 com diferentes teores de aditivo estabilizador de hidratação em função do tempo de utilização.



Pode-se verificar para traço 1:7 uma resistência à compressão média de 8,03 MPa para o tempo inicial (0h), 4,75 MPa no tempo 24 horas e 3,78 MPa para 36 horas, para as argamassas produzidas com teor de aditivo estabilizador de 0,40%.

Quando produzidas com 0,60% de aditivo estabilizador de hidratação, obteve-se como resultado resistências médias de 7,92 MPa, 4,51 MPa e 4,46 MPa nos tempos inicial (0h), 24 horas e 36 horas respectivamente. As resistências médias obtidas nas argamassas produzidas com 0,80% de aditivo estabilizador de hidratação foram de 7,15 MPa no tempo inicial (0h), 5,31 MPa em 24 horas e 4,56 MPa em 36 horas. Já para as argamassas confeccionadas com teor de 1,00% de aditivo estabilizador de hidratação, resistências médias de 6,53 MPa no tempo inicial (0h), 5,01MPa em 24 horas e 4,72 MPa em 36 horas foram observadas.

Para todos os traços, verificou-se possível restauração da trabalhabilidade com a adição de água em 24 horas e sem prejuízo da resistência a 28 dias. Pode-se notar que as resistências à compressão obtidas no tempo 24 horas foram compatíveis com as resistências à compressão dos blocos de concreto selecionados no programa experimental: 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa. Ou seja, quando avaliadas as argamassas armazenadas em recipientes, corrigida trabalhabilidade com adição de água, as argamassas estabilizadas em 24 horas com teor de 0,60% de aditivo estabilizador de hidratação obtiveram

resistências compatíveis com as resistências dos blocos de concreto, sendo este teor considerado ideal para garantir a estabilização. Mas, sem dúvida, o procedimento de se adicionar água para a correção da trabalhabilidade faz com que haja um decréscimo expressivo na resistência das argamassas, independentemente do traço utilizado.

5.4. Estudo da resistência à compressão em prismas (etapa e)

Com os traços finais 1:4, 1:5,5 e 1,7 contendo as proporções de areia e teores de aditivo otimizados, foram confeccionadas misturas para o ensaio de resistência à compressão e módulo de elasticidade em prismas de alvenaria de 3 fiadas.

Após 28 dias de moldagem, foram ensaiados os prismas para determinação do fator de eficiência e mecanismo de ruptura. As argamassas foram ensaiadas quanto à determinação do ar incorporado e resistência à compressão e tração na flexão em 28 dias para os tempos inicial (0h) e 24 horas (tempo de utilização). Os valores tabelados de trabalhabilidade, ar incorporado, relação a/c, e resistência à compressão e tração na flexão das argamassas estão apresentados no Anexo 3.

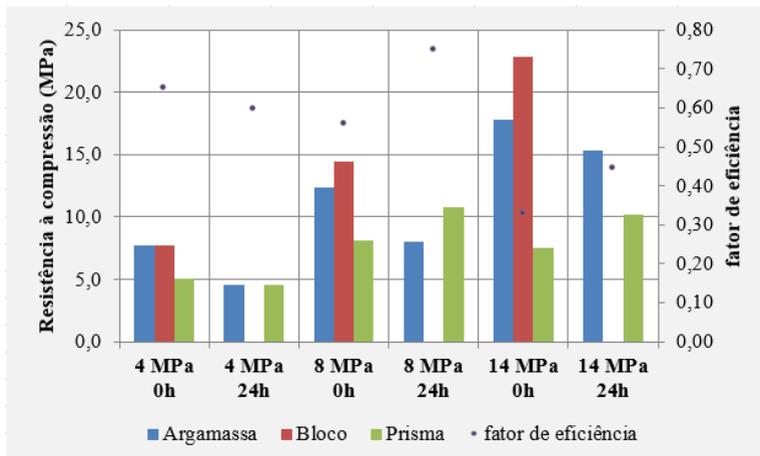
A tabela 29 apresenta um resumo das propriedades dos prismas de três fiadas: resistência à compressão média e potencial (maior valor obtido) dos prismas, fator de eficiência (relação entre a resistência à compressão do prisma e do bloco de concreto) médio e potencial, módulo de elasticidade e resistência à compressão das argamassas.

Tabela 29 – Resultados dos ensaios dos prismas de três fiadas.

Bloco de concreto		Argamassa estabilizada			Prisma de blocos de concreto		
Resistência nominal	Resistência média (MPa)	Traço	Tempo	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão média (MPa)	Fator de eficiência	Módulo de elasticidade (GPa)
4 MPa	7,7	1:7	0h	7,71	5,01	0,65	11,70
			24h	4,54	4,60	0,60	4,80
8 MPa	14,45	1:5,5	0h	12,35	8,07	0,56	12,49
			24h	8,00	10,81	0,75	12,61
14 MPa	22,8	1:4	0h	17,85	7,51	0,33	21,80
			24h	15,31	10,16	0,45	26,66

Percebe-se que os valores de resistência à compressão dos prismas de blocos de concreto de 4 MPa e 8 MPa atenderam ao esperado. Entretanto, os fatores de eficiência levemente abaixo de 0,7, que representaria bom desempenho da alvenaria. A figura 38 mostra a resistência à compressão das argamassas, dos blocos e prismas estudados.

Figura 38 – Resistência à compressão das argamassas, blocos e prismas e o fator de eficiência.



Quanto a resistência à compressão, verificou-se que, para os prismas de blocos de concreto de 14 MPa, as resistências foram bem inferiores ao esperado, tanto para os prismas do tempo inicial (0h) quanto para os prismas moldados em 24 horas de utilização das argamassas. No entanto, os blocos e as argamassas apresentaram resistências esperadas. Observa-se que os prismas de blocos de concreto de 14 MPa, obtiveram fatores de eficiência abaixo de 0,45, abaixo dos valores para alvenaria estrutural de blocos de concreto. Observou-se que os blocos de concreto apresentaram resistências médias efetivas superiores às nominais, de 7,70 MPa, 14,45 MPa e 22,80 MPa, sendo que as argamassas foram dosadas para alvenaria com resistências de 4MPa, 8MPa e 14 MPa, fato que pode explicar os baixos fatores de eficiência dos prismas.

Como esperado, os valores de módulo de elasticidade foram proporcionais aos valores de resistência à compressão. As menores resistências à compressão apresentaram os menores módulos de elasticidade. Dessa forma, os maiores módulos de elasticidade foram observados para prismas de blocos de concreto de 14 MPa. As figuras 39, 40, 41, 42, 43 e 44 apresentam a(s)

curva(s) tensão x deformação específica dos prismas. O Anexo 4 mostra os valores do cálculo módulo de elasticidade dos prismas de 3 fiadas.

Figura 39 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 4 MPa no tempo inicial (0h).

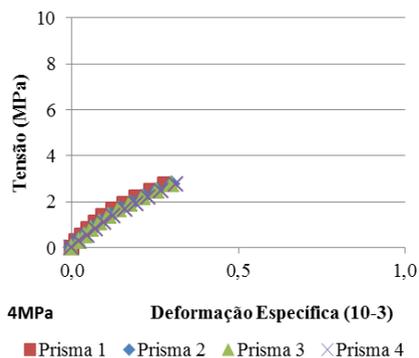


Figura 40 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 4 MPa no tempo de estabilização (24 horas).

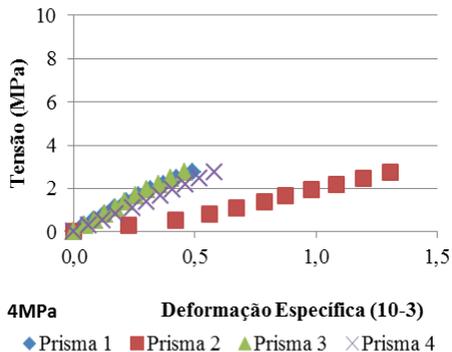


Figura 41 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 8 MPa no tempo inicial (0h).

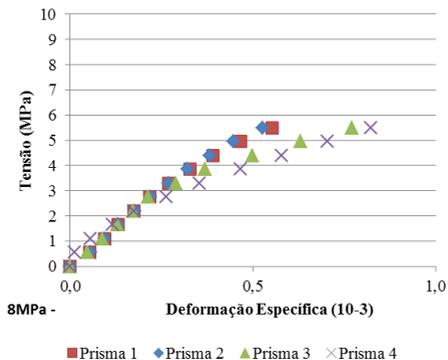


Figura 42 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 8 MPa no tempo de estabilização (24 horas).

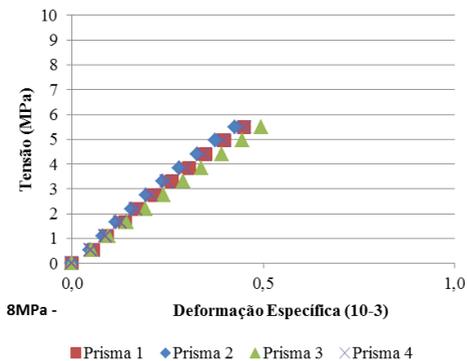


Figura 43 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 14 MPa no tempo inicial (0h).

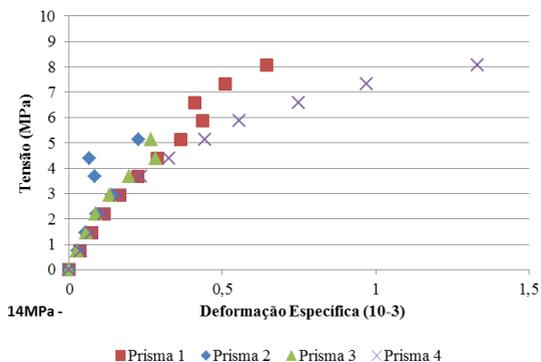
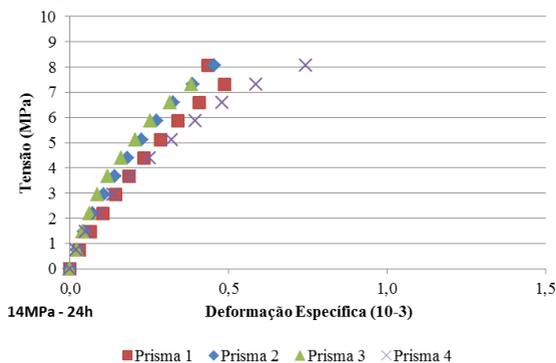
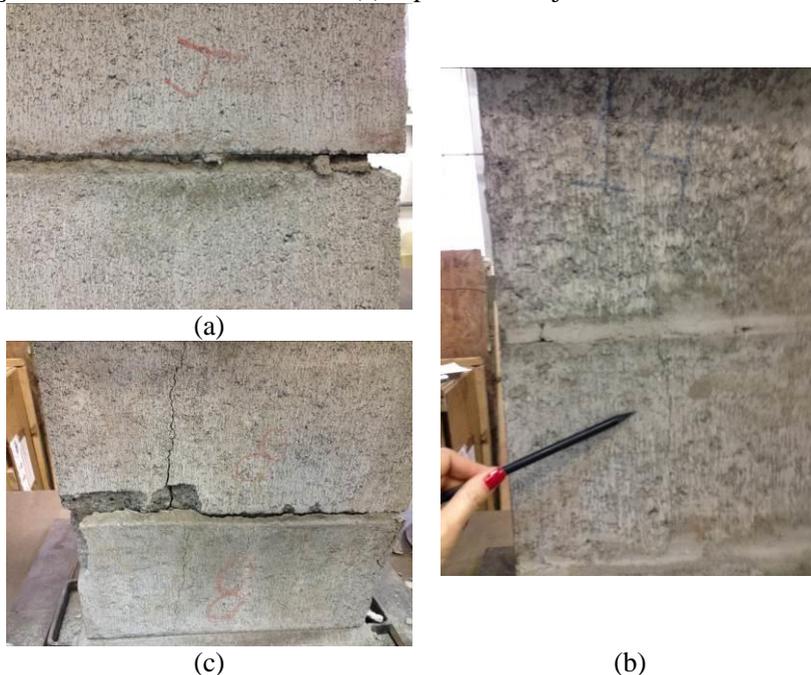


Figura 44 – Curva tensão x deformação dos prismas de blocos de 14 MPa no tempo de estabilização (24 horas).



Verificou-se variação no modo de ruptura dos prismas: por tração no bloco, ruptura do conjunto e esmagamento da junta. A figura 45 ilustra os modos de ruptura de cada caso. O mecanismo e ruptura dos prismas de três fiadas de blocos de 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa é mostrado nas tabelas 55, 56 e 57 do anexo.

Figura 45 – Modo de ruptura: (a) esmagamento da junta 4 MPa 24 horas; (b) tração no bloco 14 MPa 24 horas; (c) ruptura do conjunto 8 MPa 24 horas.



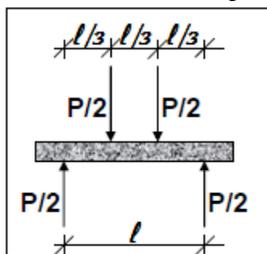
5.5. Estudo da resistência à tração na flexão em mini-prismas (etapa f)

Da mesma forma que na etapa anterior, com os traços finais 1:4, 1:5,5 e 1,7 contendo as proporções de areia e teores de aditivo otimizados, foram confeccionadas misturas para o ensaio de resistência à tração na flexão em mini-prismas de alvenaria.

5.5.1. Amostras para mini-prismas (peças ou fatias)

Como já exposto na revisão bibliográfica, os mini-prismas visam reproduzir as condições de prismas de quatro fiadas, através do seccionamento de fatias do bloco, simulando uma região central do prisma. A figura 46 apresenta o ensaio de tração na flexão de mini-prismas.

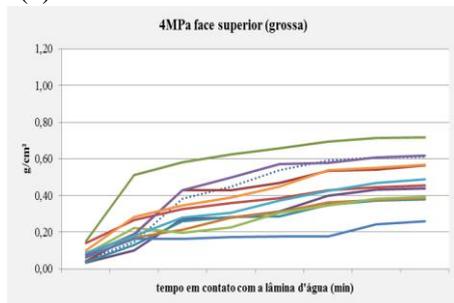
Figura 46 – Ensaio de tração na flexão de mini-prismas.



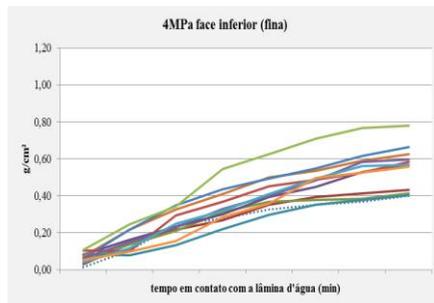
5.5.1.1. Peças seccionadas dos blocos de 4 MPa

A figura 47 representa a absorção por capilaridade pela área de contato em relação ao tempo de permanência na lamina de água das peças de 4 MPa de face superior (grossa) e de face inferior (fina).

Figura 47 – Capilaridade de amostras das peças de 4 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.



(a) face superior (grossa).



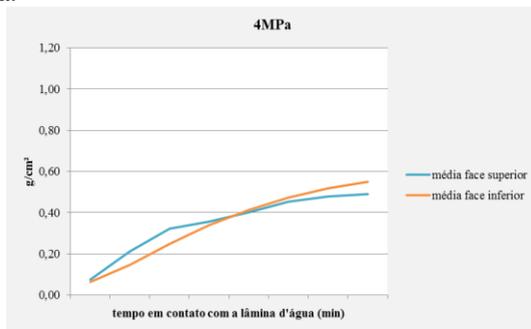
(b) face inferior (fina).

Observou-se que, até 15 minutos de contato com a lâmina de água, as peças de face inferior (fina) apresentaram valores de absorção abaixo dos valores da face superior (grossa) e, após este tempo, as peças de face superior apresentaram resultados de absorção acima dos valores obtidos pela face inferior, como mostra a figura 48.

Apesar deste fato, para as peças de 4 MPa, os valores médios obtidos foram muito semelhantes. Considerando todas as peças ensaiadas, após 60 minutos de contato com a lâmina de água, as peças grossas apresentaram

absorção média de $0,45 \text{ g/cm}^2$ e desvio padrão de $0,112 \text{ g/cm}^2$ e as peças finas absorção média de $0,47 \text{ g/cm}^2$ e desvio padrão de $0,074 \text{ g/cm}^2$.

Figura 48 – Valores médios de absorção/área de contato com a lâmina de água das peças de 4 MPa.



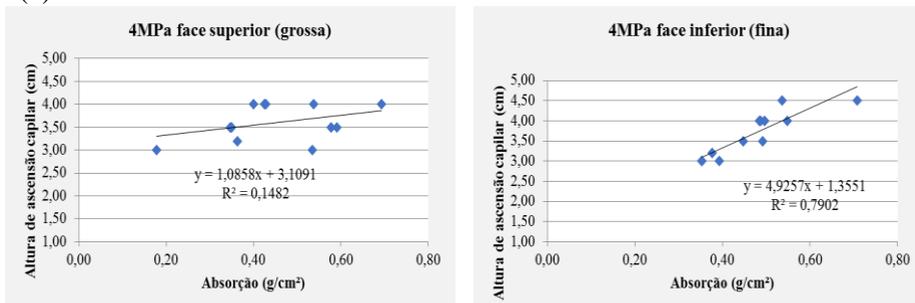
Com relação à altura de ascensão capilar, as peças de face superior grossa apresentaram alturas de 3 a 4 cm em média. Ver figura 49.

Figura 49 – Altura de ascensão capilar de peças de 4 MPa aos 60 minutos.



A figura 50 apresenta altura de ascensão capilar em relação à absorção pela área das peças. Não há uma relação aparente entre tais variáveis, não existindo relação significativa entre a altura de ascensão capilar e a absorção por área de contato para as peças de 4 MPa. Obteve-se boa correlação linear R^2 igual a 0,79 (equação $y = 4,9257x + 1,3551$) entre altura de ascensão capilar e absorção (g/cm^2) para as peças seccionadas de bloco de 4 MPa de face inferior (fina).

Figura 50 – Altura de ascensão capilar em peças de 4 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.



(a) face superior (grossa).

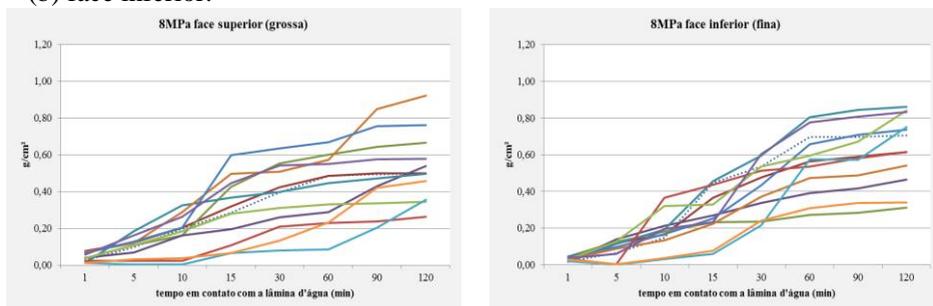
(b) face inferior (fina).

5.5.1.2. Peças sectionadas dos blocos de 8 MPa

As peças de 8 MPa de face superior (grossa) apresentaram valores médios de 0,41 g/cm² e desvio padrão de 0,151 g/cm² após 60 minutos em contato com a lâmina de água, enquanto que as peças de face inferior (fina) apresentaram valores médios de 0,55 g/cm² e desvio padrão de 0,132 g/cm².

A figura 51 representa a absorção por capilaridade pela área de contato em relação ao tempo de permanência na lamina de água das peças de 8 MPa de face superior (grossa) e de face inferior (fina).

Figura 51 – Capilaridade de amostras das peças de 8 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.



(c) face superior (grossa).

(d) face inferior (fina).

Até 30 minutos de contato com a lâmina de água, verificou-se que as peças de face inferior (fina) apresentaram valores semelhantes dos valores da

face superior (grossa) e, após este tempo, as peças de face superior apresentaram resultados de absorção acima dos valores obtidos pela face inferior. Os valores médios de absorção/área de contato com a lâmina de água das peças de 8 MPa e altura de ascensão capilar (de 2 a 3 cm) são mostrados nas figuras 52 e 53.

Figura 52 – Valores médios de absorção/área de contato com a lâmina de água das peças de 8 MPa.

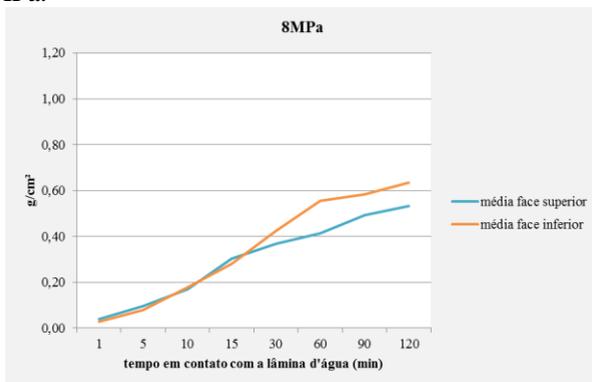
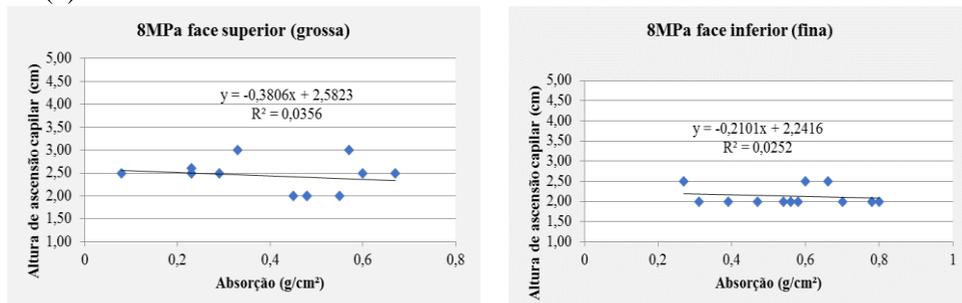


Figura 53 – Altura de ascensão capilar de peças de 8 MPa aos 60 minutos.



A figura 54 apresenta altura de ascensão capilar em relação à absorção pela área das peças. Não foi obtida correlação significativa entre a altura de ascensão capilar e a absorção por área de contato para as peças de 8 MPa, todas as combinações realizadas apresentaram R^2 abaixo de 0,2.

Figura 54 – Altura de ascensão capilar em peças de 8 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.



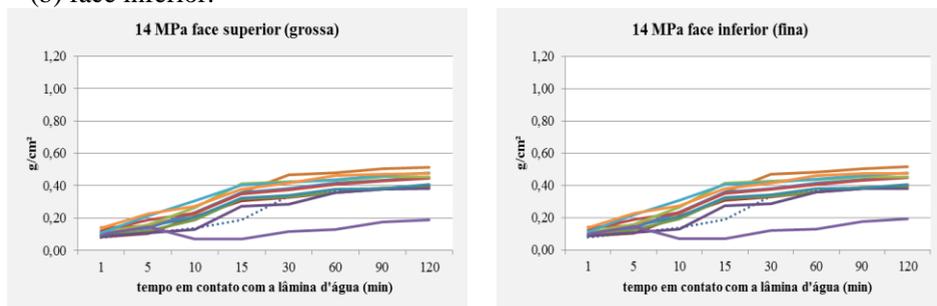
(a) face superior (grossa).

(b) face inferior (fina).

5.5.1.3. Peças seccionadas dos blocos de 14 MPa

Com relação à absorção de água por capilaridade nas peças de 14 MPa, observou-se de absorção maiores para as peças de face superior (grossa), em média 0,38 g/cm² e desvio padrão de 0,058 g/cm² aos 60 minutos. As peças de face inferior (fina) apresentaram média de 0,30 g/cm² e desvio padrão de 0,097 g/cm² após 60 minutos em contato com a lâmina de água. A figura 55 mostra a absorção por capilaridade pela área de contato em relação ao tempo de permanência na lamina de água das peças de 14 MPa de face superior (grossa) e de face inferior (fina).

Figura 55 – Capilaridade de amostras das peças de 14 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.



(c) face superior (grossa).

(d) face inferior (fina).

Os valores médios absorção/área de contato com a lâmina de água das peças de 14 MPa são apresentados na figura 56 abaixo. As peças de face superior (grossa) obtiveram maiores valores de absorção e alturas de ascensão capilar de 3 a 4 cm, como mostra a figura 57.

Schankoski (2012) justifica esse comportamento em peças seccionadas de blocos de concreto de 16 MPa pelo refinamento dos poros. A autora explica que a parte fina (inferior) recebe maior compactação, tendendo a diminuir o diâmetro dos vazios, o que facilita a ascensão da água.

Figura 56 – Valores médios de absorção/área de contato com a lâmina de água das peças de 14 MPa.

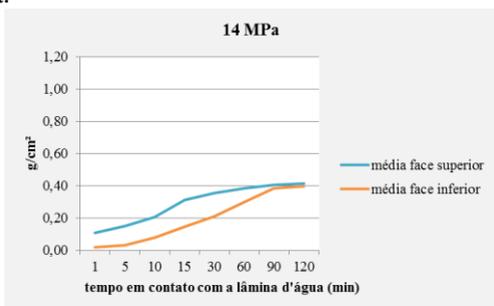
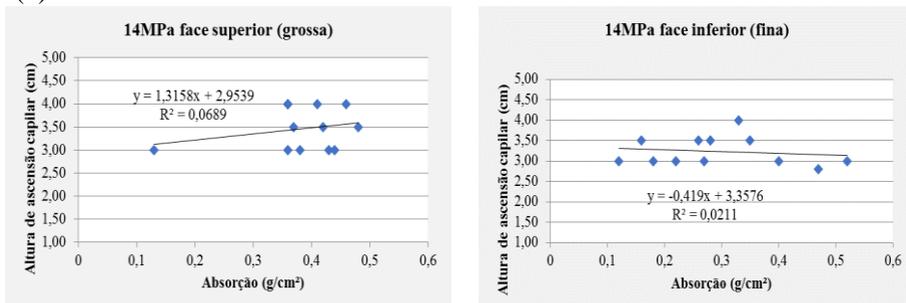


Figura 57 – Altura de ascensão capilar de peças de 14 MPa aos 60 minutos.



A figura 58 apresenta altura de ascensão capilar em relação à absorção pela área das peças. Não foi possível estabelecer correlação significativa entre a altura de ascensão capilar e a absorção por unidade de área, para as faces superior e inferior das peças de 14 MPa.

Figura 58 – Altura de ascensão capilar em peças de 14 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.



(a) face superior (grossa).

(b) face inferior (fina).

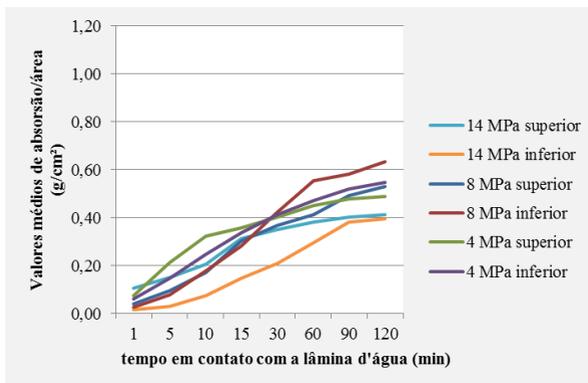
O Anexo 5 mostra os valores individuais de absorção de água por capilaridade das peças de segmentos de blocos de concreto.

5.5.1.4. Comparação entre as fatias seccionadas dos blocos de 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa

Comparando-se as peças seccionadas dos blocos de 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa, nota-se que as peças de 14 MPa apresentaram valores de absorção por unidade de área inferiores aos valores das peças de 4 e 8 MPa. Esse fato era esperado e já discutido por Schankoski (2012), onde a autora expõe que os blocos de maiores resistências tendem a apresentar um menor número de volume de vazios, o que reduz a absorção de água.

Entretanto, avaliando a figura 59, que compara esses valores, percebe-se que as peças de 8 MPa e face inferior apresentaram valores maiores de absorção por unidade de área. Isso também ocorre quando avaliadas as alturas de ascensão capilar nas peças de 8 MPa, que apresentaram valores muito próximos para as faces superior (grossa) e inferior (fina).

Figura 59 – Altura de ascensão capilar em peças de 14 MPa: (a) face superior e (b) face inferior.

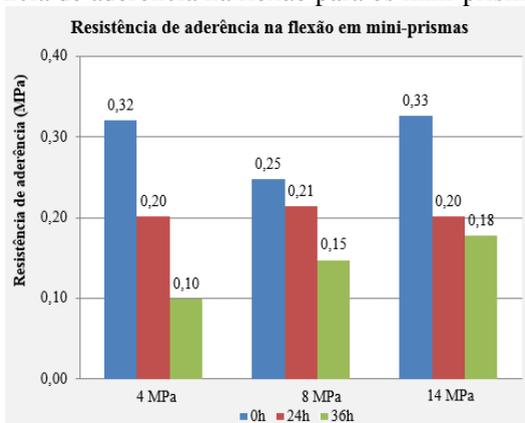


5.5.2. Aderência nos mini-prismas de blocos de 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa.

Foram confeccionados 4 mini-prismas logo após a confecção das argamassas no tempo inicial (0h) e 4 mini-prismas após 24 e 36 horas (tempos desejados de utilização) para o ensaio de resistência à tração na flexão em mini-prismas de alvenaria.

A figura 60 apresenta os valores médios de resistência de aderência na flexão aos 28 dias para os mini-prismas de blocos de 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa para os três tempos de utilização.

Figura 60 – Resistência de aderência na flexão para os mini-prismas.



Observa-se na figura 60 que a resistência de aderência na flexão nos mini-prismas atende às recomendações da ABNT NBR 15961, que especifica que para argamassas com resistência à compressão entre 3 e 7 MPa, a resistência de aderência na flexão deve ser no mínimo de 0,15 MPa, e que para argamassas com resistência à compressão superior a 7 MPa, esses valores devem estar acima de 0,20 MPa. Nota-se que essas resistências foram alcançadas tanto para as argamassas no tempo inicial (0h) quanto para as argamassas no tempo de utilização de 24 horas. Entretanto, as argamassas de tempo de utilização de 36 horas não atingiram os valores mínimos especificados pela norma.

Os maiores valores de resistência de aderência nos mini-prismas foram obtidos nas peças de 14 MPa para as idades 0 e 36 horas, e na sequência pelo mini-prismas confeccionados com peças de blocos de 8 MPa para 36 horas e 4 MPa para o tempo inicial (0h).

Valores obtidos por Casali (2008) mostraram variação da proporção entre prismas e mini-prismas, variando de 0,26 até 0,48 MPa para argamassas mistas, de 0,13 a 0,29 MPa para argamassas mistas com incorporador de ar, de 0,32 a 0,69 MPa para argamassas de cimento com incorporador de ar, de 0,10 a 0,26 MPa para argamassas de cimento com incorporador de ar e retentor de água.

De acordo com Casali (2008), a resistência de aderência na flexão nos mini-prismas é uma resistência potencial, isto é, a resistência máxima que pode ser obtida pelo material. Para tanto, os resultados do estudo em primas de quatro fiadas são mostrados no item 5.6.

O Anexo 6 mostra os valores obtidos em cada mini-prisma moldado e ensaiado. E os valores de ar incorporado, resistência à compressão e tração na flexão das argamassas utilizadas na confecção dos mini-prismas estão apresentados no Anexo 7.

5.6. Estudo da resistência à tração na flexão em prismas (etapa g)

Após a obtenção de todos os valores de resistência à tração na flexão obtidos nos prismas, foram descartados os valores extremos e obtido o valor médio para os prismas de blocos de 4, 8 e 14 MPa. Assim, os resultados para cada tempo de utilização foram avaliados.

5.6.1. Resultados obtidos em prismas de blocos de 4 MPa

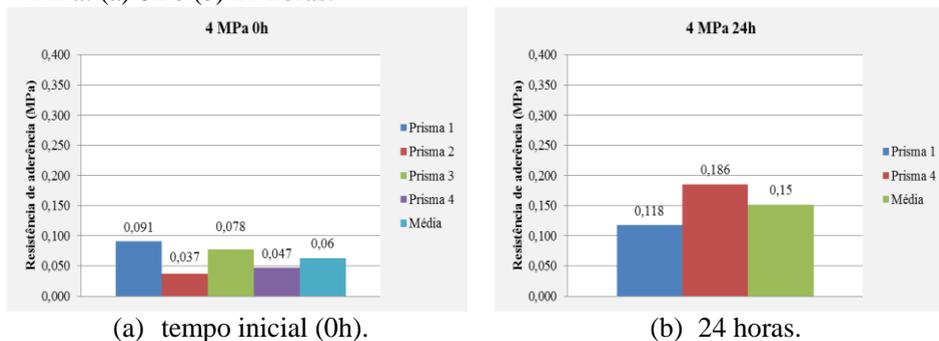
A tabela 30 apresenta os resultados individuais de aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 4 MPa. Os prismas 2 e 3 em 24 horas romperam-se durante o transporte. Isto pode ter ocorrido por problemas no assentamento (movimentação do bloco de forma inadequada) por falta de experiência dos assentadores uma vez que a argamassa possuía os requisitos de consistência considerados adequados antes do assentamento.

Tabela 30 – Resultados da aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 4 MPa.

Argamassa		Prisma	Flexão (MPa)
4 MPa	0h	1	0,091
		2	0,037
		3	0,078
		4	0,047
		Média	0,063
		Desvio	0,025
		CV (%)	40,003
	24 h	1	0,118
		4	0,186
		Média	0,152
		Desvio	0,048
CV (%)		31,428	

Foi observado um resultado médio de aderência pouco inferior a 0,1 MPa no tempo inicial (0h), porém o coeficiente de variação de 40%. Já para argamassa em 24 horas, o valor médio obtido foi de 0,15 MPa e coeficiente de variação de 31%. A figura 61 apresenta os valores médios de resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 4 MPa nos dois tempos de utilização.

Figura 61 – Resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 4 MPa: (a) 0h e (b) 24 horas.



Avaliando-se os resultados apresentados na tabela 30 e observados na figura 60, nota-se que a resistência de aderência na flexão nos prismas de blocos de 4 MPa não atende às especificações da ABNT NBR 15961 (2011) para o tempo inicial (0h). Porém, quando avaliados em 24 horas, esses valores atingem uma média de 0,15 MPa, atendendo à referida norma. Conforme já citado anteriormente, de acordo com o NBR 15961 (2011), a resistência de aderência na flexão deve ser no mínimo de 0,15 MPa para argamassas com resistência à compressão entre 3 e 7 MPa.

5.6.2. Resultados obtidos em prismas de blocos de 8 MPa

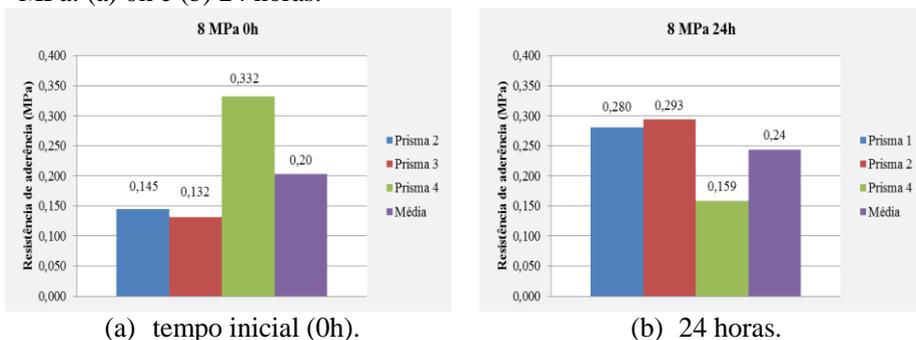
Os resultados de aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 8 MPa são mostrados na tabela 31. Os prismas 1 (0h) e 3 (24h) romperam-se durante o transporte, e por este motivo não são apresentados os resultados na tabela.

Tabela 31 – Resultados da aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 8 MPa.

Argamassa		Prisma	Flexão (MPa)
8 MPa	0h	2	0,145
		3	0,132
		4	0,332
		Média	0,203
		Desvio	0,112
		CV (%)	55,166
	24 h	1	0,280
		2	0,293
		4	0,159
		Média	0,244
		Desvio	0,074
		CV (%)	30,457

O valor médio de aderência obtido foi de 0,20 MPa para o tempo inicial (0h) (coeficiente de variação de 55%) e de 0,24 MPa, com coeficiente de variação de 30%, em 24 horas. A figura 62 apresenta os valores médios de resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 8 MPa nas duas idades de utilização.

Figura 62 – Resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 8 MPa: (a) 0h e (b) 24 horas.



Percebe-se pela tabela 31 e na figura 61 que os prismas de blocos de 8 MPa atendem às especificações da norma, atingindo valores médios de 0,20

MPa para o tempo inicial (0h) e 0,24 MPa para 24 horas. Para argamassas com resistência à compressão superior a 7 MPa, a resistência de aderência na flexão deve ser no mínimo de 0,20 MPa.

5.6.3. Resultados obtidos em prismas de blocos de 14 MPa

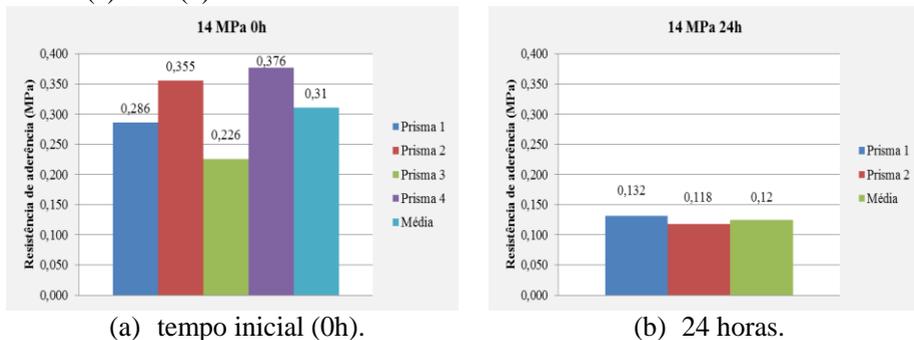
Na tabela 32 são mostrados os resultados de aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 14 MPa, que apresentam valor médio de aderência de 0,31 MPa no tempo inicial (0h), acima do mínimo recomendado pela norma, e no entanto, não atingem à especificação quando avaliada argamassa em 24 horas. Os prismas 3 e 4 em 24 horas romperam-se durante o transporte, e por este motivo, não são apresentados os resultados na tabela.

Tabela 32 – Resultados da aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 14 MPa.

Argamassa		Prisma	Flexão (MPa)
14 MPa	0h	1	0,286
		2	0,355
		3	0,226
		4	0,376
		Média	0,311
		Desvio	0,069
		CV (%)	22,067
	24 h	1	0,132
		2	0,118
		Média	0,125
		Desvio	0,010
		CV (%)	7,645

Pode-se observar na tabela 32 que os valores de aderência obtidos foram de 0,31 MPa (coeficiente de variação de 22%) e 0,12 MPa (coeficiente de variação de 7,6%) para os tempos 0 e 24 horas. A figura 63 apresenta os valores médios de resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 14 MPa nas duas idades de utilização.

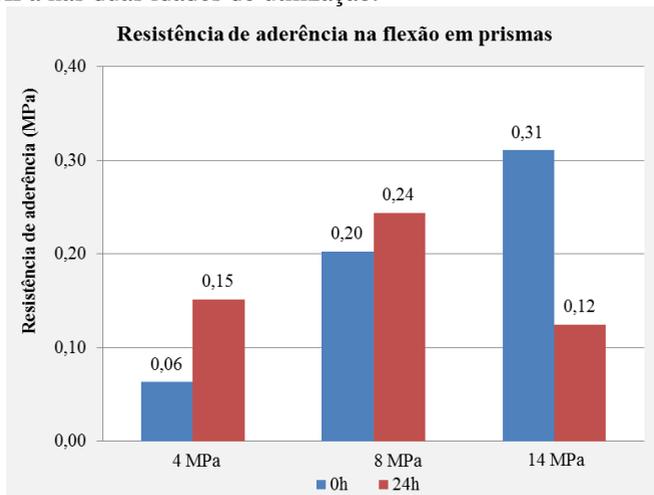
Figura 63 – Resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 14 MPa: (a) 0h e (b) 24 horas.



5.6.4. Valores médios obtidos nos prismas de blocos de 4, 8 e 14 MPa

A figura 64 apresenta um resumo dos valores médios de resistência de aderência na flexão para os prismas de blocos de 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa para os dois tempos de utilização, já discutidos acima.

Figura 64 – Resistência média de aderência na flexão para os prismas de blocos de 4, 8 e 14 MPa nas duas idades de utilização.



Com os dados obtidos de resistência de aderência na flexão nos prismas de quatro fiadas, pode-se estabelecer uma correlação entre os valores obtidos com os resultados de aderência nos mini-prismas. A correlação estabelecida entre os valores obtidos de resistência de aderência na flexão dos prismas de quatro fiadas e dos mini-prismas será abordada no item 5.7.

5.7. Correlação entre os valores obtidos de resistência de aderência de prismas e mini-prismas

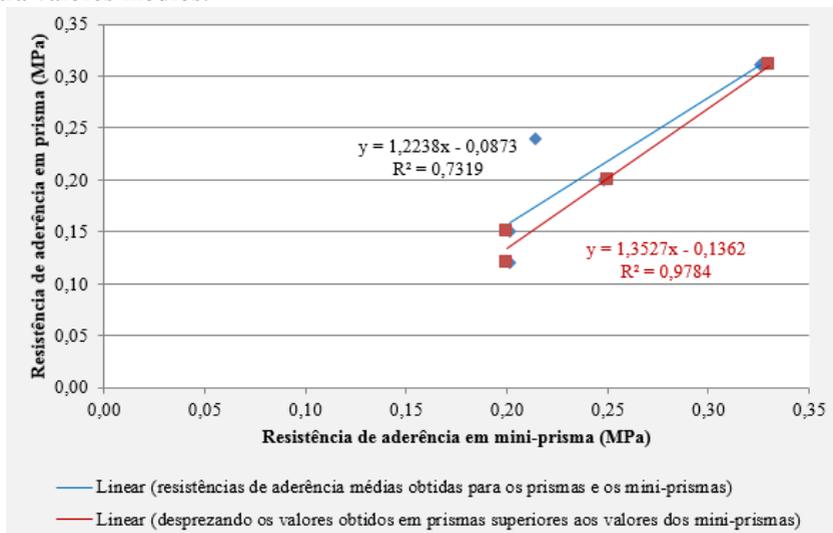
Uma comparação dos valores de aderência obtidos nos mini-prismas e nos prismas de quatro fiadas, é demonstrada pela tabela 33 a seguir.

Tabela 33 – Relação de aderência dos prismas de quatro fiadas e dos mini-prismas estudados.

Valores médios	Aderência (MPa)		Relação (resistência prisma/resistência mini-prisma)
	Mini-prisma	Prisma	
4 MPa 0h	0,32	0,063	0,20
4 MPa 24h	0,20	0,15	0,75
8 MPa 0h	0,25	0,20	0,81
8 MPa 24h	0,21	0,24	1,12
14 MPa 0h	0,33	0,31	0,95
14 MPa 24h	0,20	0,12	0,60

A figura 65 apresenta correlação entre a resistência de aderência na flexão média obtida nos prismas de quatro fiadas e a resistência de aderência na flexão média obtida nos mini-prismas.

Figura 65 – Resistência de aderência na flexão dos prismas e dos mini-prismas para valores médios.



Pode-se avaliar pela figura 65, que foi escolhida uma correlação linear para apresentação dos dados, o que é justificado pela quantidade reduzida de dados e ter sido a função de menor coeficiente de correlação. Percebe-se uma boa correlação de 0,73 entre as resistências de aderência médias obtidas para os prismas e os mini-prismas. Cabe ressaltar que a correlação apresentada é entre os resultados médios obtidos e para argamassas de 4 MPa em 24 horas e 8 MPa e 14 MPa tanto em 0 horas quanto em 24 horas.

Quando avaliados resultados desprezando os valores obtidos em prismas superiores aos valores dos mini-prismas, 8 MPa em 24 horas com relação 1,12 (tabela 33), percebe-se uma correlação de 0,97 entre as resistências de aderência médias obtidas para os prismas e os mini-prismas (figura 65).

Outro fato que cabe ressaltar, é que os mini-prismas apresentaram resistências de aderência na flexão quase sempre superiores às observadas nos prismas. Percebe-se na tabela 33 que, para as argamassas de 4 MPa, as resistências de aderência obtidas em mini-prismas foram de 0,32 e 0,20 MPa e nos prismas de 0,10 e 0,15 MPa, nos tempos 0 e 24 horas, respectivamente. Para as argamassas de 8 MPa, observa-se a resistência média de aderência de 0,25 MPa em mini-prismas e 0,20 MPa nos prismas, quando avaliado o tempo inicial (0h); no entanto, no tempo de estabilização de 24 horas, embora os resultados obtidos tenham sido muito próximos, a resistência média de

aderência nos prismas (0,24 MPa) foi superior do que nos mini-prismas (0,21 MPa). O que justifica esses resultados, é que a resistência de aderência na flexão nos mini-prismas é uma resistência potencial, isto é, a resistência máxima que pode ser obtida pelo material (Casali, 2008). A situação no mini-prisma é otimizada e sofre menos influência de fatores externos. A autora explica que em mini-prismas as peças seccionadas de bloco de concreto são homogêneas; o assentamento é realizado de forma constante, sem que ocorra descolamento de apenas um dos lados da junta de assentamento, que pode acontecer nos prismas; e que no caso dos prismas, após o assentamento da junta inferior (primeira junta) ocorre assentamento das juntas superiores que podem movimentar o bloco, fato este que não ocorre em mini-prismas.

Nota-se na tabela 33 uma proporção distinta entre a resistência de aderência do prisma e do mini-prisma para cada argamassa estudada, mesmo quando avaliadas argamassas de mesma resistência, porém em tempos diferentes de utilização.

A argamassa de 14 MPa obteve no tempo inicial (0h) relação de 0,95, o que significa que a resistência do prisma muito se aproximou da obtida em mini-prisma. Quanto ao tempo de 24 horas, essa argamassa teve relação de 0,60, bem inferior à relação obtida no tempo inicial.

A argamassa de 8 MPa apresentou, no tempo inicial (0h), relação de 0,81, e 1,12 em 24 horas, que, conforme já explanado, apresentou maior resistência de aderência nos prismas do que nos mini-prismas. Os valores obtidos nos dois tempos de utilização da argamassa de 8 MPa demonstram boa relação entre as resistências de aderência obtidos nos prismas e mini-prismas.

Embora a argamassa de 4 MPa tenha apresentado resistências mais elevadas nos mini-prismas do que nos prismas, comportamento já esperado e justificado, a relação para o tempo inicial (0h) ficou abaixo do esperado, o que pode ser justificado pela baixa resistência média de aderência nos prismas. Os resultados individuais dos prismas de quatro fiadas de 4 MPa estão na tabela 33 já exposta. Apesar desse fato, a argamassa de 4 MPa apresentou boa relação (0,75) em 24 horas e, quando avaliada resistência de aderência em 24 horas, a argamassa de 4 MPa atendeu à especificações da norma (resistência de aderência na flexão mínima de 0,15) para o tempo desejado de utilização.

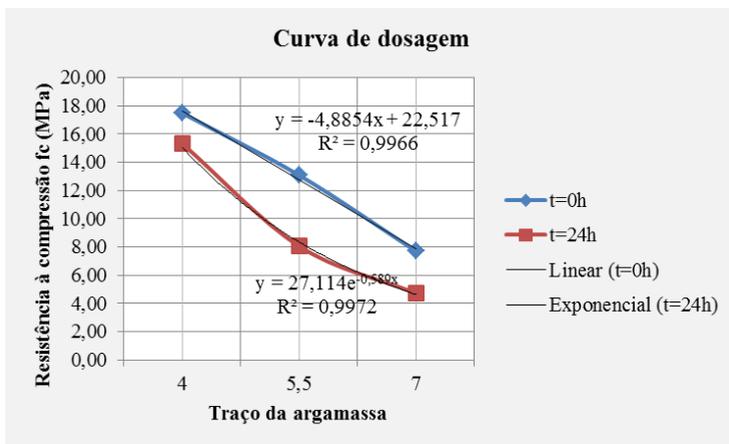
Os valores de ar incorporado, resistência à compressão e tração na flexão das argamassas utilizadas na confecção dos prismas e mini-prismas estão apresentados no Anexo 7. Vale ressaltar que, quando avaliado o tempo de utilização desejado neste trabalho, ou seja, 24 horas, as argamassas atingiram resistências compatíveis com as resistências dos prismas.

5.8. Construção da curva de dosagem (etapa h)

Com os dados obtidos de resistência à compressão das argamassas e fatores de eficiência dos prismas, é apresentada, na figura 65, a curva de dosagem para, por interpolação, definição os traços finais para diferentes resistências à compressão de argamassa e diferentes resistência de prismas especificados em projeto.

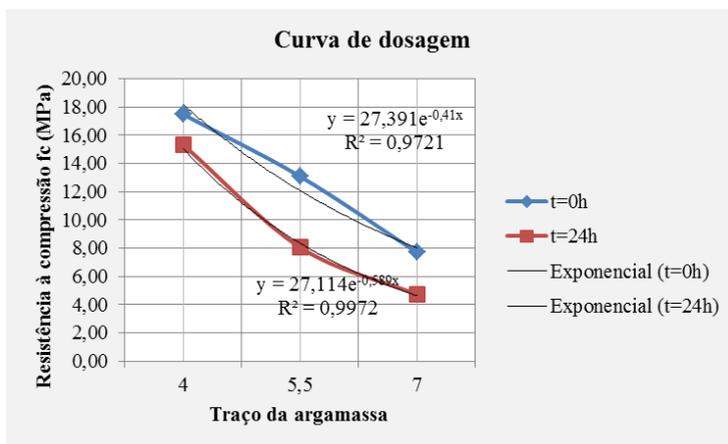
Os resultados mostraram que houve uma boa correlação e que, como mostra a figura 66, as funções linear (tempo 0 horas) e exponencial (24 horas) que apresentaram os maiores coeficientes de correlação.

Figura 66 – Curva de dosagem para o tempo inicial (0 horas) e o tempo de utilização de 24 horas (caso crítico).



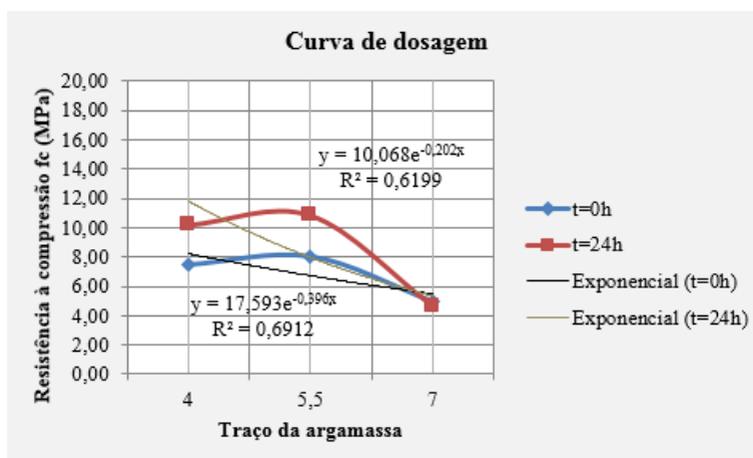
Quando avaliada a curva para o tempo 0 horas, como função exponencial, nota-se resultados de resistência à compressão levemente abaixo dos obtidos neste trabalho (Ver figura 67).

Figura 67 – Curva de dosagem para o tempo inicial (0h) e o tempo de utilização de 24 horas (caso crítico).



A figura 68 apresenta curva de dosagem para os prismas de blocos de concreto. Os maiores coeficientes de correlação foram obtidos quando avaliada função exponencial tanto para o tempo inicial (0 horas) quanto para o tempo de utilização (24 horas).

Figura 68 – Curva de dosagem para o tempo inicial (0h) e o tempo de utilização de 24 horas (caso crítico) dos prismas de blocos de concreto.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguir, são apresentadas as conclusões do presente estudo e feitas considerações sobre o comportamento da argamassa estabilizada como alternativa para o assentamento de blocos de concreto de resistências variadas em sistemas em alvenaria estrutural. Com base nos resultados do programa experimental apresentado, é possível tecer algumas considerações sobre as argamassas estabilizadas de assentamento, sua dosagem, bem como a influência das argamassas estabilizadas nos prismas de alvenaria de blocos de concreto.

Também são apresentadas algumas sugestões para o desenvolvimento de novos trabalhos, visando contribuir para a melhoria do método de dosagem para definição dos traços finais para blocos de concreto de alta resistência.

6.1. Conclusões

Os estudos piloto das argamassas estabilizadas indicaram boa trabalhabilidade das argamassas quando avaliadas pelos parâmetros do GTec Teste, sendo considerada consistência entre 15 e 18 mm e plasticidade entre 4 e 12 golpes, e teor de ar incorporado entre 18 e 22% (neste trabalho avaliado pelo método gravimétrico).

No ensaio de deformabilidade da junta, o objetivo era considerar a proporção ideal entre as areias com menor módulo de finura que atendesse o requisito do ensaio de deformabilidade. As argamassas foram consideradas aceitáveis, pois as juntas sofreram uma deformação total ao final do ensaio inferior a 1 mm. Quando testada uma argamassa com módulo de finura com uma areia muito fina (MF=1,0), o limite de deformação foi ultrapassado, validando os ensaios.

Verificou-se durante os testes para determinação do teor ideal de aditivo incorporador de ar e determinação do teor de aditivo estabilizador de hidratação nas argamassas, que é possível restauração da trabalhabilidade com a adição de água. Como esperado, ao acrescentar água no tempo de utilização há uma queda da resistência à compressão a 28 dias. Porém, as resistências à compressão obtidas no tempo de utilização foram compatíveis com as resistências à compressão dos blocos de concreto selecionados no programa experimental: 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa. No estudo da resistência à compressão e determinação do módulo de elasticidade em prismas de três fiadas, notou-se que os valores de resistência à compressão dos prismas de blocos de concreto de 4 MPa e 8 MPa atenderam ao esperado, embora os fatores de eficiência

tenham sido levemente abaixo de 0,7, que seria considerado um bom desempenho da alvenaria. Para os prismas de blocos de 14 MPa, as resistências foram bem inferiores ao esperado, tanto para os prismas do tempo inicial (0 horas) quanto para os prismas moldados em 24 horas de estabilização das argamassas; no entanto, os blocos de concreto e as argamassas apresentaram resistências esperadas. Os baixos fatores de eficiência dos prismas principalmente dos prismas de blocos de concreto de 14 MPa (0,45) podem ser explicados pelo fato de que os blocos de concreto apresentaram resistências efetivas superiores às nominais. Os valores de módulo de elasticidade foram proporcionais aos valores de resistência à compressão, ou seja, as menores resistências à compressão apresentaram os menores módulos de elasticidade. Dessa forma, os maiores módulos de elasticidade foram observados para prismas de blocos de concreto de 14 MPa.

Foi avaliada absorção de água por capilaridade das peças seccionadas dos blocos, que se mostraram valores muito semelhantes para as faces superior (grossa) e face inferior (fina) das peças de blocos de concreto de 4 MPa. Obteve-se boa correlação linear (0,79) entre altura de ascensão capilar e absorção de água por capilaridade (g/cm^2) para as peças seccionadas de blocos de concreto 4 MPa de face inferior (fina). Para as peças de blocos de concreto de 8 MPa, até 30 minutos de contato com a lâmina de água, verificou-se que as peças de face inferior (fina) apresentaram valores semelhantes dos valores da face superior (grossa), e após este tempo as peças de face superior apresentaram resultados de absorção acima dos valores obtidos pela face inferior. Observou-se, para as peças de blocos de concreto de 14 MPa, valores de absorção maiores para as peças de face superior (grossa) após 60 minutos em contato com a lâmina de água. Comparando-se as peças seccionadas dos blocos de concreto 4 MPa, 8 MPa e 14 MPa, nota-se que as peças de blocos de concreto de 14 MPa apresentaram valores de absorção por unidade de área inferiores aos valores das peças de blocos de concreto de 4 e 8 MPa.

O método de avaliação em mini-prisma possibilitou determinar os valores médios de resistência de aderência na flexão aos 28 dias para os dois tempos de utilização. Os valores de resistência de aderência na flexão nos mini-prismas atenderam às recomendações da ABNT NBR 15961 (2011). Os maiores valores de resistência de aderência nos mini-prismas foram obtidos nas peças de blocos de concreto de 14 MPa para as idades 0 horas e 36 horas e, na sequência, pelos mini-prismas confeccionados com peças de 8 MPa para 36 horas e 4 MPa para o tempo 0 horas. Conforme já exposto anteriormente, a resistência de aderência na flexão nos mini-prismas é uma resistência potencial, isto é, a resistência máxima que pode ser obtida pelo material.

A resistência de aderência na flexão nos prismas de blocos de 4 MPa não atendeu às especificações da ABNT NBR 15961 (2011) para o tempo inicial (0h). Porém, quando avaliados em 24 horas, esses valores atingem uma média de 0,15 MPa, atendendo à norma. O valor médio de aderência obtido em prismas de blocos de 8 MPa foi de 0,20 MPa para 0 horas (coeficiente de variação de 55%) e de 0,24 MPa, com coeficiente de variação de 30%, em 24 horas. Os prismas de 8 MPa atenderam às especificações da norma, atingindo valores médios de 0,20 MPa para o tempo inicial (0h) e 0,24 MPa para 24 horas. Os resultados de aderência dos prismas de quatro fiadas de blocos de 14 MPa, apresentaram valor médio de aderência de 0,31 MPa no tempo inicial, acima do mínimo recomendado pela norma, e no entanto, não atingem à especificação quando avaliada argamassa em 24 horas. Os valores médios de resistência de aderência na flexão obtidos para os prismas de blocos de 14 MPa foram de 0,31 MPa (coeficiente de variação de 22%) e 0,12 MPa (coeficiente de variação de 7,6%) para os tempos 0 e 24 horas.

Com os dados obtidos de resistência de aderência na flexão nos prismas de quatro fiadas foi possível correlacionar os valores obtidos de resistência nos prismas com aquelas obtidas nos mini-prismas. Foi escolhida uma correlação linear para apresentação dos dados, o que é justificado pela quantidade reduzida de dados e ter sido a função de menor coeficiente de correlação. Percebe-se uma boa correlação (R^2 de 0,73) entre as resistências de aderência médias obtidas para os prismas e os mini-prismas. Os mini-prismas apresentaram resistências de aderência na flexão quase sempre superiores às observadas nos prismas, sendo nos mini-prismas uma situação otimizada e que sofre menos influência de fatores externos. Percebeu-se uma proporção distinta entre a resistência de aderência do prisma e do mini-prisma para cada argamassa estudada, mesmo quando avaliadas argamassas de mesma resistência, porém em tempos diferentes de utilização. A argamassa de 14MPa obteve, no tempo inicial (0 horas), relação de 0,95, o que significa que a resistência do prisma muito se aproximou da obtida em mini-prisma. Quanto ao tempo de 24 horas, essa argamassa teve relação de 0,60, bem inferior à relação obtida no tempo inicial (0 horas). A argamassa de 8 MPa apresentou no tempo inicial relação de 0,81, e 1,12 em 24 horas, apresentando maior resistência de aderência nos prismas do que nos mini-prismas. Os valores obtidos nos dois tempos de utilização da argamassa de 8 MPa demonstram boa relação entre as resistências de aderência obtidos nos prismas e mini-prismas. A argamassa de 4 MPa apresentou boa relação (0,75) e, quando avaliada resistência de aderência em 24 horas, atendeu às especificações da norma para o tempo desejado de utilização. Desta forma, pode-se concluir que os ensaios

em mini-prismas estão menos sujeitos a influência do assentador e, portanto, podem ser uma boa opção para estudos em laboratório.

Com os resultados de caracterização das propriedades no estado fresco (consistência, plasticidade e coesão, retenção de água e teor de ar incorporado) e estado endurecido (resistência à compressão e tração na flexão, módulo de elasticidade), definição do teor adequado de aditivo estabilizador de hidratação em função do tempo de utilização da argamassa na obra e teor de ar incorporado ideal para a aplicação das argamassas, além do estudo da influência da redosagem de água para ajuste da trabalhabilidade, pode-se estabelecer parâmetros para dosagem de argamassas estabilizadas para assentamento estrutural.

Diante dos resultados obtidos, foi construída curva de dosagem de argamassa estabilizada para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto de resistências variadas. Por interpolação, as curvas podem auxiliar a definição dos traços finais para diferentes resistências à compressão de argamassa e diferentes resistência de prismas especificados em projeto. Os dados da curva mostraram boa correlação e as funções linear (tempo 0 horas) e exponencial (24 horas) apresentaram os maiores coeficientes de correlação, e, quando avaliada a curva para o tempo inicial (0 horas), como função exponencial, obteve-se resultados de resistência à compressão da alvenaria levemente abaixo dos obtidos no programa experimental deste trabalho.

6.2. Sugestões para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se investigar com mais profundidade os prismas de blocos de concreto de 14 MPa. Conforme exposto anteriormente, percebe-se baixo desempenho quando utilizadas as argamassas com blocos de elevada resistência. Para os prismas de blocos de concreto de 14 MPa, as resistências foram bem inferiores ao esperado, tanto para os prismas do tempo inicial quanto para os prismas moldados em 24 horas de utilização das argamassas; no entanto, os blocos e as argamassas apresentaram resistências esperadas. Os baixos fatores de eficiência dos prismas principalmente dos prismas de blocos de 14 MPa (0,45) podem ser explicados pelo fato de que os blocos de concreto apresentaram resistências efetivas superiores às nominais.

Tais características de queda de desempenho com o tempo de utilização nos blocos de 14 MPa já foram observadas em outros trabalhos realizados pelo GTec. Schankoski (2012), Matos (2013), Matos, Schankoski e Prudência (2014) obtiveram em seus estudos resistências à compressão superiores às esperadas para os prismas confeccionados com blocos de concreto com fbk

igual a 6 MPa e 9 MPa, e resistências inferiores às esperadas para prismas com blocos de concreto com fbk de 14 MPa.

Com base nos estudos já desenvolvidos, sugere-se estudo específico em blocos de concreto de alta resistência. Para tanto, recomenda-se os estudos dos tópicos a seguir.

- Estudo da porosidade dos blocos de elevada resistência quanto à influência na percolação de materiais cimentícios da argamassa.
- Avaliação dos teores ideais do aditivo incorporador de ar e do aditivo estabilizador de hidratação de forma específica de blocos de concreto de elevadas resistências (14 MPa) para verificação da melhora da trabalhabilidade inicial bem como sua manutenção.
- Avaliação da resistência em prismas com blocos de 14 MPa, levando em consideração o tempo de utilização das argamassas.
- Estudo da influência dos aditivos incorporador de ar e estabilizador de hidratação em argamassas com diferentes traços para minimizar a diferença nas propriedades no estado endurecido.

7. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 90**: Standard Specification for Loadbearing Concrete Masonry Units. Philadelphia, 2014.

_____.**ASTM C 91**: Specification for masonry cement. Philadelphia, 1916.

_____.**ASTM C 270**: Mortar for unit masonry. Philadelphia, 1987.

_____.**ASTM C 780**: Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry. Philadelphia, 2014.

_____.**ASTM E 518**: Test method for flexural bond strength of masonry. Philadelphia, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

_____.**NBR 7215**: Determinação da resistência à compressão – cimento Portland. Rio de Janeiro, 1997.

_____.**NBR 7217**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.

_____.**NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2003.

_____.**NBR 8949**: Paredes de alvenaria estrutural - Ensaio à compressão simples - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985.

_____.**NBR 11172**: Aglomerantes de origem mineral - Terminologia. Rio de Janeiro, 1990.

_____.**NBR 11768**: Aditivos para Concreto de Cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011.

____. **NBR 12118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2005.

____. **NBR 13277**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2005.

____. **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.

____. **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.

____. **NBR 15961**: Alvenaria Estrutural – Blocos de concreto. Partes 1 e 2. Rio de Janeiro, 2011.

____. **NBR NM 46**: Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR NM 47**: Concreto – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico. Rio de Janeiro, 2002.

____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

____. **NBR NM 248**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

____. **NBR ISO 3310-1**: Peneiras de ensaio – Requisitos técnicos e verificação. Parte 1. Rio de Janeiro, 2010.

BATTAGIN, A. F. **Cimento Portland**. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. Ed. IBRACON. São Paulo, 2011. Cap. 06. p. 185 – 232.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*. 2ª edição. São Paulo, 2010. Cap. 28. p. 893 - 944.

CASALI, J. M.; PRUDÊNCIO JR, L. R. **New test method for the evaluation of the workability of concrete block masonry bedding mortars**. Proceedings of 14th International Brick and Block Masonry Conference, Sidney, 2008a.

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

CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Durabilidade do concreto: Bases cimentícias para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente**. 1ª edição. Ed. IBRACON. São Paulo, 2014.

CASCUDO, O.; CARASEK, H.; HASPARYK, N. P. **Microestrutura dos materiais cerâmicos**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*. 2ª edição. São Paulo, 2010. Cap. 11. p. 325 - 353.

CINCOTTO, M. A.; QUARCIONI, V. A.; JOHN, V. M. **Cal na construção civil**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*. 2ª edição. São Paulo, 2010. Cap. 22. p. 695 - 726.

DA MATA, R.C. **Influência do padrão de argamassamento na resistência à compressão de prismas e mini paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis – SC, 2006.

DINIZ, J. Z.; FERNANDES, J. F.; KUPERMAN, S. C. **Retração e fluência**. In: ISAIA, G. C. *Concreto: ciência e tecnologia*. Ed. IBRACON. São Paulo, 2011. Cap. 19. p. 673 – 703.

HARTMANN, C.; JEKNAVORIAN, A.; SILVA, D.; BENINI, H. **Aditivos químicos para concretos e cimentos**. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. Ed. IBRACON. São Paulo, 2011. Cap. 10. p. 347 – 380.

ISAIA, G. C. **A evolução do concreto estrutural**. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. Ed. IBRACON. São Paulo, 2011. Cap. 1. p. 1 – 55.

KAZMIERCZAK, C. S. **Produtos de cerâmica vermelha**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais. 2ª edição. São Paulo, 2010. Cap. 18. p. 565 - 588.

MATOS, P. R.; SCHANKOSKI, R. A.; PRUDÊNCIO JR., L. R. **Estudo da utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto. Natal, RN – 2014.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedade e materiais**. 2ª edição. São Paulo. 2014.

MOHAMAD, G.; ROMAN, H. R.; RIZZATTI, E.; ROMAGNA, R. **Alvenaria estrutural**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais. 2ª edição. São Paulo, 2010. Cap. 32. p. 1045 - 1075.

NETO, C. S. **Agregados naturais, britados e artificiais para concreto**. In: ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. Ed. IBRACON. São Paulo, 2011. Cap. 07. p. 233 – 260.

PANARESE, W. C.; KOSMATKA, S. H.; RANDALL JR., F. A. **Concrete Masonry Handbook for architects, engineers, builders**. United States of America, 1991. Fifth edition.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis, 2003. Editora Gráfica Palloti. 208 p.

PRUDÊNCIO JR., L. R. **Materiais de Construção Civil**. Notas de aula, Curso de Graduação em Engenharia Civil – UFSC, 1994.

ROMANO, R. C. O.; CARDOSO, F. A.; PILLEGGI, R. G. **Propriedades do concreto no estado fresco**. In: ISAIA, G. C. *Concreto: ciência e tecnologia*. Ed. IBRACON. São Paulo, 2011. Cap. 13. p. 453 – 500.

SABBATINI, F. H. **Argamassa de assentamento para paredes de alvenaria resistente**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1986.

SCHANKOSKI, R. A. **Influência do tipo de argamassa nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto de alta resistência**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SILVA, A. F. **Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2007.

STEIL, R. O. **Efeito da geometria do bloco de concreto e do tipo de argamassa no desempenho à compressão de prismas de alvenaria não grauteados**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ANEXOS

ANEXO 1 – Resultados do ensaio de deformabilidade da junta.

Tabela 34 – Resultados deformabilidade da junta para o traço 1:4.

Traço 1:4					
MF		1,5	1,7	1,9	1,0
GTec Teste		18 mm	17 mm	15 mm	17 mm
		4 golpes	4 golpes	3 golpes	4 golpes
ar incorporado		20%	18%	21%	19%
água		376,34 g	372,67 g	373,69 g	303,51 g%
a/c		0,53	0,51	0,52	0,57
H		10,49%	10,16%	10,40%	11,35%
inicial	lado 1	142,41 mm	142,95 mm	140,60 mm	130,04 mm
	lado 2	137,92 mm	148,53 mm	152,55 mm	148,54 mm
1o bloco	lado 1	142,38 mm	142,70 mm	140,53 mm	129,59 mm
	lado 2	137,55 mm	148,42 mm	152,20 mm	148,17 mm
2o bloco	lado 1	142,36 mm	142,69 mm	140,33 mm	129,17 mm
	lado 2	137,51 mm	148,37 mm	152,20 mm	147,83 mm
3o bloco	lado 1	142,33 mm	142,61 mm	140,31 mm	128,85 mm
	lado 2	137,31 mm	148,34 mm	152,16 mm	147,68 mm
4o bloco	lado 1	142,28 mm	142,60 mm	140,30 mm	128,42 mm
	lado 2	137,30 mm	148,33 mm	152,11 mm	147,68 mm
5o bloco	lado 1	142,10 mm	142,49 mm	140,28 mm	128,39 mm
	lado 2	137,24 mm	148,03 mm	152,11 mm	147,51 mm
6o bloco	lado 1	142,06 mm	142,21 mm	140,25 mm	128,38 mm
	lado 2	137,23 mm	147,98 mm	152,09 mm	147,46 mm

Total	lado 1	0,35 mm	0,74 mm	0,35 mm	1,66 mm
	lado 2	0,69 mm	0,55 mm	0,46 mm	1,08 mm

água por capilaridade					
face superior		7 mm	8 mm	9 mm	
face inferior		8 mm	9 mm	12 mm	

Tabela 35 – Resultados deformabilidade da junta para o traço 1:5,5.

Traço 1:5,5				
MF		1,5	1,7	1,9
GTec Teste		18 mm	16 mm	18 mm
		5 golpes	5 golpes	6 golpes
ar incorporado		22%	22%	20%
água		335,38 g	355,66%	339,10%
a/c		0,56	0,60%	0,57%
H		8,68%	9,20%	8,76%
inicial	lado 1	135,42 mm	135,86 mm	134,70 mm
	lado 2	135,97 mm	136,12 mm	132,76 mm
1o bloco	lado 1	135,40 mm	135,82 mm	134,61 mm
	lado 2	135,85 mm	136,02 mm	132,70 mm
2o bloco	lado 1	135,40 mm	135,78 mm	134,60 mm
	lado 2	135,84 mm	135,98 mm	132,69 mm
3o bloco	lado 1	135,39 mm	135,45 mm	134,53 mm
	lado 2	135,82 mm	135,78 mm	132,67 mm
4o bloco	lado 1	135,35 mm	135,42 mm	134,52 mm
	lado 2	135,80 mm	135,77 mm	132,67 mm
5o bloco	lado 1	135,30 mm	135,40 mm	134,52 mm
	lado 2	135,77 mm	135,77 mm	132,67 mm
6o bloco	lado 1	135,26 mm	135,32 mm	134,50 mm
	lado 2	135,69 mm	135,72 mm	132,66 mm
Total	lado 1	0,16 mm	0,54 mm	0,20 mm
	lado 2	0,28 mm	0,40 mm	0,10 mm

água por capilaridade

face superior	3 mm	6 mm	5 mm
face inferior	8 mm	15 mm	10 mm

Tabela 36 – Resultados deformabilidade da junta para o traço 1:7.

Traço 1:7				
MF		1,5	1,7	1,9
GTec Teste		17 mm	18 mm	18 mm
		4 golpes	4 golpes	5 golpes
ar incorporado		19%	21%	21%
água		413,38 g	338,22 g	399,38 g
a/c		0,82	0,67	0,79
H		10,19%	8,32%	9,82%
inicial	lado 1	142,24 mm	144,67 mm	142,75 mm
	lado 2	142,71 mm	143,58 mm	142,54 mm
1o bloco	lado 1	142,02 mm	144,66 mm	142,74 mm
	lado 2	142,51 mm	143,22 mm	141,86 mm
2o bloco	lado 1	142,00 mm	144,64 mm	142,73 mm
	lado 2	142,40 mm	143,20 mm	141,85 mm
3o bloco	lado 1	142,00 mm	144,61 mm	142,70 mm
	lado 2	142,40 mm	143,20 mm	141,85 mm
4o bloco	lado 1	141,98 mm	144,60 mm	142,69 mm
	lado 2	142,40 mm	143,18 mm	141,85 mm
5o bloco	lado 1	141,98 mm	144,59 mm	142,69 mm
	lado 2	142,38 mm	143,18 mm	141,62 mm
6o bloco	lado 1	141,67 mm	144,54 mm	142,58 mm
	lado 2	142,16 mm	143,17 mm	142,04 mm
Total	lado 1	0,57 mm	0,13 mm	0,17 mm
	lado 2	0,55 mm	0,41 mm	0,50 mm

água por capilaridade			
face superior	9 mm	12 mm	8 mm
face inferior	11 mm	14 mm	12 mm

ANEXO 2 – Valores de trabalhabilidade, ar incorporado, relação a/c, e resistência à compressão e tração na flexão na determinação do teor ideal de aditivo estabilizador de hidratação.

Tabela 37 – Resultados de avaliação do teor 0,40% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:4.

1:4 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 0,40% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	21%	14%	12%
	GTec Teste	15 mm	17 mm	17 mm
		5 golpes	7 golpes	7 golpes
	a/c	0,38	0,51	0,60
	H	7,55%	10,24%	11,98%
	flexão (MPa)	5,63	4,66	4,38
	compressão (MPa)	16,83	15,01	12,88
	compressão (MPa)	16,46	14,81	12,80
	flexão (MPa)	5,67		4,59
	compressão (MPa)	15,68		13,61
	compressão (MPa)	15,76		12,31
	flexão (MPa)			
	compressão (MPa)			
	compressão (MPa)			
	MÉDIA	16,18	14,91	12,90
	perda de resist.		7,86	20,28
DESVIO	0,56	0,14	0,54	
CV (%)	3,44	0,95	4,16	

Tabela 38 – Resultados de avaliação do teor 0,60% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:4.

1:4 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 0,60% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	22%	12%	11%
	GTec Teste	16 mm	15 mm	15 mm
		5 golpes	5 golpes	5 golpes
	a/c	0,40	0,64	0,63
	H	8,06%	12,78%	12,52%
	flexão (MPa)	6,14	5,44	4,99
	compressão (MPa)	18,63	15,23	11,19
	compressão (MPa)	18,54	15,11	11,89
	flexão (MPa)	5,98	5,20	5,02
	compressão (MPa)	17,52	15,96	12,53
	compressão (MPa)	17,44	16,13	13,44
	flexão (MPa)	5,98		
	compressão (MPa)	17,25		
	compressão (MPa)	17,23		
	MÉDIA	17,77	15,61	12,26
	perda de resist.		12,16	30,99
	DESVIO	0,64	0,51	0,96
	CV (%)	3,62	3,28	7,80

Tabela 39 – Resultados de avaliação do teor 0,80% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:4.

1:4 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar	Teor de ar incorporado	22%	13%	11%
	GTec Teste	17 mm	16 mm	15 mm

0,80% estabilizador de hidratação		6 golpes	5 golpes	5 golpes
	a/c	0,45	0,66	0,73
	H	9,08%	13,20%	14,66%
	flexão (MPa)	6,98	5,60	4,88
	compressão (MPa)	18,70	14,15	11,64
	compressão (MPa)	18,41	14,26	11,65
	flexão (MPa)	6,49	5,58	4,41
	compressão (MPa)	16,19	13,87	12,18
	compressão (MPa)	16,29	13,22	10,60
	flexão (MPa)	6,47		
	compressão (MPa)	15,64		
	compressão (MPa)	15,75		
	MÉDIA	16,83	13,88	11,52
	perda de resist.		17,56	31,57
	DESVIO	1,36	0,47	0,66
CV (%)	8,09	3,36	5,74	

Tabela 40 – Resultados de avaliação do teor 1,00% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:4.

1:4 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 1,00% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	21%	13%	11%
	GTec Teste	17 mm	16 mm	17 mm
		6 golpes	6 golpes	6 golpes
	a/c	0,48	0,62	0,61
	H	9,57%	12,48%	12,15%
	flexão (MPa)	6,26	5,91	5,58
compressão (MPa)	16,21	13,28	10,50	

	compressão (MPa)	16,28	13,13	10,73
	flexão (MPa)	6,16	5,84	4,69
	compressão (MPa)	14,56	11,04	9,11
	compressão (MPa)	13,63	11,77	10,26
	flexão (MPa)	6,12		
	compressão (MPa)	13,61		
	compressão (MPa)	13,55		
	MÉDIA	14,64	12,31	10,15
	perda de resist.		15,95	30,67
	DESVIO	1,30	1,08	0,72
	CV (%)	8,87	8,80	7,09

Tabela 41 – Resultados de avaliação do teor 0,40% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:5,5.

1:5,5 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 0,40% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	12%	11%
	GTec Teste	17 mm	17 mm	17 mm
		6 golpes	7 golpes	8 golpes
	a/c	0,55	0,85	0,91
	H	8,47%	13,03%	13,99%
	flexão (MPa)	3,28	2,93	2,60
	compressão (MPa)	9,94	7,44	6,96
	compressão (MPa)	9,98	7,57	7,40
	flexão (MPa)	3,73	3,12	2,63
	compressão (MPa)	10,19	7,99	7,99
compressão (MPa)	11,16	7,83	7,31	

	flexão (MPa)	3,89		
	compressão (MPa)	11,27		
	compressão (MPa)	11,11		
	MÉDIA	10,61	7,71	7,42
	perda de resist.		27,34	30,10
	DESVIO	0,63	0,25	0,43
	CV (%)	5,98	3,22	5,77

Tabela 42 – Resultados de avaliação do teor 0,60% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:5,5.

1:5,5 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 0,60% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	17%	12%	10%
	GTec Teste	16 mm	15 mm	18 mm
		6 golpes	5 golpes	6 golpes
	a/c	0,63	0,94	1,02
	H	9,65%	14,51%	15,66%
	flexão (MPa)	4,13	3,19	3,00
	compressão (MPa)	9,36	7,38	6,24
	compressão (MPa)	9,61	7,63	6,74
	flexão (MPa)	4,20	3,21	3,02
	compressão (MPa)	10,69	8,52	7,49
	compressão (MPa)	10,72	7,59	7,31
	flexão (MPa)	4,20		2,98
	compressão (MPa)	13,85		7,21
	compressão (MPa)	11,71		6,93
	MÉDIA	10,99	7,78	6,99
	perda de resist.		29,21	36,43
	DESVIO	1,64	0,51	0,45
CV (%)	14,91	6,50	6,49	

Tabela 43 – Resultados de avaliação do teor 0,80% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:5,5.

1:5,5 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	17%	13%	11%
	GTec Teste	18 mm	17 mm	18 mm
		7 golpes	7 golpes	6 golpes
	a/c	0,62	0,86	1,02
	H	9,60%	13,28%	15,72%
	flexão (MPa)	4,43	3,45	3,19
	compressão (MPa)	10,98	8,17	6,40
	compressão (MPa)	10,36	8,14	6,38
	flexão (MPa)	4,52	3,35	3,19
	compressão (MPa)	13,26	8,37	7,67
	compressão (MPa)	13,37	8,22	7,26
	MÉDIA	11,99	8,23	6,93
	perda de resist.		31,42	42,23
	DESVIO	1,55	0,10	0,64
CV (%)	12,91	1,24	9,28	

Tabela 44 – Resultados de avaliação do teor 1,00% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:5,5.

1:5,5 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 1,00% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	13%	9%
	GTec Teste	15 mm	17 mm	17 mm
		5 golpes	7 golpes	6 golpes
	a/c	0,62	0,82	0,91
	H	9,47%	12,64%	14,07%
	flexão (MPa)	4,92	3,61	3,42

	compressão (MPa)	10,18	8,31	7,40
	compressão (MPa)	10,20	8,36	7,93
	flexão (MPa)	4,90	3,61	3,40
	compressão (MPa)	8,51	7,26	7,16
	compressão (MPa)	8,53	8,26	7,09
	MÉDIA	9,36	8,05	7,40
	perda de resist.		13,98	20,95
	DESVIO	0,96	0,53	0,38
	CV (%)	10,31	6,54	5,15

Tabela 45 – Resultados de avaliação do teor 0,40% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:7.

1:7 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 0,40% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	21%	13%	11%
	GTec Teste	16 mm	16 mm	15 mm
		6 golpes	6 golpes	5 golpes
	a/c	0,75	1,10	1,33
	H	9,43%	13,75%	16,57%
	flexão (MPa)	4,05	2,74	2,27
	compressão (MPa)	8,48	4,83	3,76
	compressão (MPa)	8,80	4,44	3,75
	flexão (MPa)	4,03	3,00	2,39
	compressão (MPa)	7,34	4,98	3,60
	compressão (MPa)	7,49	4,75	3,99
	MÉDIA	8,03	4,75	3,78
	perda de resist.		40,83	52,97
	DESVIO	0,72	0,23	0,16
CV (%)	8,99	4,79	4,26	

Tabela 46 – Resultados de avaliação do teor 0,60% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:7.

1:7 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 0,60% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	21%	14%	12%
	GTec Teste	16 mm	15 mm	17 mm
		6 golpes	5 golpes	6 golpes
	a/c	0,71	1,19	1,15
	H	8,93%	14,86%	14,32%
	flexão (MPa)	3,28	2,70	2,27
	compressão (MPa)	7,11	4,57	4,49
	compressão (MPa)	7,68	4,57	4,96
	flexão (MPa)	3,73	2,48	2,39
	compressão (MPa)	7,85	4,34	4,19
	compressão (MPa)	7,38	4,55	4,19
	flexão (MPa)	3,54		
	compressão (MPa)	8,13		
	compressão (MPa)	9,39		
	MÉDIA	7,92	4,51	4,46
perda de resist.		43,11	43,74	
DESVIO	0,80	0,11	0,36	
CV (%)	10,12	2,49	8,16	

Tabela 47 – Resultados de avaliação do teor 0,80% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:7.

1:7 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 0,80% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	21%	13%	12%
	GTec Teste	16 mm	15 mm	17 mm
		7 golpes	5 golpes	6 golpes
	a/c	0,75	1,12	1,19
	H	9,41%	14,05%	14,89%
	flexão (MPa)	3,56	2,70	2,44
	compressão (MPa)	7,58	6,08	5,06

	compressão (MPa)	7,48	5,03	5,06
	flexão (MPa)	4,05	2,93	2,46
	compressão (MPa)	7,43	5,06	4,72
	compressão (MPa)	7,16	5,06	4,51
	flexão (MPa)	3,33		2,46
	compressão (MPa)	6,79		4,04
	compressão (MPa)	6,44		3,98
	MÉDIA	7,15	5,31	4,56
	perda de resist.		25,73	36,17
	DESVIO	0,45	0,52	0,48
	CV (%)	6,28	9,71	10,44

Tabela 48 – Resultados de avaliação do teor 1,00% de aditivo estabilizador de hidratação para o traço 1:7.

1:7 (etapa d)	Tempo →	0 h	24 h	36 h
0,37% incorporador de ar 1,00% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	22%	15%	12%
	GTec Teste	15 mm	17 mm	16 mm
		5 golpes	6 golpes	5 golpes
	a/c	0,71	0,95	1,10
	H	8,92%	11,86%	13,77%
	flexão (MPa)	3,14	2,16	1,92
	compressão (MPa)	5,84	5,67	4,62
	compressão (MPa)	5,94	5,84	5,47
	flexão (MPa)	2,91	2,37	1,73
	compressão (MPa)	7,66	4,41	4,72
	compressão (MPa)	6,69	4,13	4,06
	MÉDIA	6,53	5,01	4,72
	perda de resist.		23,27	27,78
	DESVIO	0,84	0,87	0,58
CV (%)	12,89	17,31	12,29	

ANEXO 3 – Valores de trabalhabilidade, ar incorporado, relação a/c, e resistência à compressão e tração na flexão das argamassas utilizadas na confecção dos prismas de 3 fiadas.

Tabela 49 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de prismas de três fiadas para o traço 1:4.

1:4 (etapa e)	Tempo →	0 h	24 h
0,37% incorporador de ar 0,60% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	17%	12%
	GTec Teste	16 mm	15 mm
		4 golpes	4 golpes
	a/c	0,73	0,87
	H	14,64%	17,35%
	flexão (MPa)	6,12	5,27
	compressão (MPa)	17,19	15,03
	compressão (MPa)	17,84	15,01
	flexão (MPa)	6,07	5,16
	compressão (MPa)	17,38	15,01
	compressão (MPa)	17,53	15,09
	flexão (MPa)	6,16	5,63
	compressão (MPa)	18,50	15,95
	compressão (MPa)	18,63	15,75
	MÉDIA	17,85	15,31
	perda de resist.		14,22
DESVIO	0,60	0,43	
CV (%)	3,35	2,79	

Tabela 50 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de prismas de três fiadas para o traço 1:5,5.

1:5,5 (etapa e)	Tempo →	0 h	24 h
0,37% incorporador de ar 0,60% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	18%	14%
	GTec Teste	18 mm	17 mm

		6 golpes	5 golpes
a/c		0,86	1,04
H		13,30%	16,05%
flexão (MPa)		4,20	3,61
compressão (MPa)		13,16	8,62
compressão (MPa)		13,25	8,19
flexão (MPa)		4,34	3,26
compressão (MPa)		11,89	7,93
compressão (MPa)		12,38	8,00
flexão (MPa)		3,82	3,02
compressão (MPa)		11,72	7,59
compressão (MPa)		11,71	7,66
MÉDIA		12,35	8,00
perda de resist.			35,24
DESVIO		0,70	0,38
CV (%)		5,71	4,71

Tabela 51 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de prismas de três fiadas para o traço 1:7.

1:7 (etapa e)	Tempo →	0 h	24 h
0,37% incorporador de ar 0,60% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	21%	12%
	GTec Teste	15 mm	17 mm
		4 golpes	5 golpes
	a/c	0,62	0,92
	H	7,74%	11,45%
	flexão (MPa)	3,23	2,70
	compressão (MPa)	7,41	4,51
	compressão (MPa)	7,44	4,72
	flexão (MPa)	3,40	2,91
	compressão (MPa)	8,09	4,43
	compressão (MPa)	8,13	4,47
	flexão (MPa)	3,56	2,81
compressão (MPa)	7,68	4,56	

	compressão (MPa)	7,49	4,56
	MÉDIA	7,71	4,54
	perda de resist.		41,07
	DESVIO	0,33	0,10
	CV (%)	4,24	2,23

ANEXO 4 – Valores do módulo de elasticidade e modo de ruptura dos prismas de 3 fiadas.

Tabela 52 – Módulo de elasticidade dos prismas de três fiadas de blocos de 4 MPa.

Cálculo do módulo de elasticidade para as argamassas										
tipo	CP	ruptura	tensão 5% s		tensão 30% s		Ds	De	E	
			tensão	DEF	tensão	DEF				
Argamassa 4 tempo inicial	1	4,20	0,21	0,011	1,26	0,083	-1,05	-0,07	14,45	11,70 média
	2	5,10	0,26	0,017	1,53	0,137	-1,28	-0,12	10,70	1,89 desvpad
	3	5,40	0,27	0,020	1,62	0,138	-1,35	-0,12	11,39	16,12% cv
	4	5,20	0,26	0,021	1,56	0,148	-1,30	-0,13	10,27	
Argamassa 4 24 horas	1	4,60	0,23	0,035	1,38	0,217	-1,15	-0,18	6,29	4,80 média
	2	4,10	0,21	0,170	1,23	0,725	-1,03	-0,56	1,85	2,15 desvpad
	3	5,05	0,25	0,039	1,52	0,233	-1,26	-0,19	6,50	44,83% cv
	4	4,70	0,24	0,051	1,41	0,309	-1,18	-0,26	4,57	

Tabela 53 – Módulo de elasticidade dos prismas de três fiadas de blocos de 8 MPa.

Cálculo do módulo de elasticidade para as argamassas									
tipo	CP	ruptura	tensão 5% s		tensão 30% s		Ds	De	E
			tensão	DEF	tensão	DEF			
Argamassa 8 tempo inicial	1	7,70	0,39	0,04	2,31	0,17	-1,93	-0,14	14,15
	2	8,80	0,44	0,04	2,64	0,21	-2,20	-0,17	13,14
	3	7,10	0,36	0,03	2,13	0,17	-1,78	-0,14	13,10
	4	8,50	0,43	0,01	2,55	0,23	-2,13	-0,22	9,56
Argamassa 8 24 horas	1	11,60	0,58	0,06	3,48	0,28	-2,90	-0,22	13,25
	2	10,90	0,55	0,05	3,27	0,23	-2,73	-0,19	14,47
	3	9,20	0,46	0,04	2,76	0,24	-2,30	-0,20	11,60
	4	11,50	0,58	0,05	3,45	0,31	-2,88	-0,26	11,13

12,49 média
2,01 desvpad
16,12% cv

12,61 média
1,54 desvpad
12,20% cv

Tabela 54 – Módulo de elasticidade dos prismas de três fiadas de blocos de 14 MPa.

Cálculo do módulo de elasticidade para as argamassas									
tipo	CP	ruptura	tensão 5% s		tensão 30% s		Ds	De	E
			tensão	DEF	tensão	DEF			
Argamassa 14 tempo inicial	1	10,09	0,50	0,02	3,03	0,17	-2,52	-0,15	16,97
	2	5,73	0,29	0,01	1,72	0,06	-1,43	-0,05	26,35
	3	5,75	0,29	0,01	1,72	0,07	-1,44	-0,06	25,55
	4	8,47	0,42	0,02	2,54	0,14	-2,12	-0,12	18,33
Argamassa 14 24 horas	1	9,50	0,48	0,02	3,02	0,10	-2,51	-0,09	29,49
	2	10,05	0,50	0,02	3,19	0,12	-2,66	-0,10	25,75
	3	10,64	0,53	0,02	3,19	0,10	-2,66	-0,08	32,10
	4	10,42	0,52	0,01	3,13	0,15	-2,61	-0,13	19,32

21,80 média
4,83 desvpad
22,18% cv

26,66
5,54
20,79% cv

Tabela 55 – Modo de ruptura dos prismas de três fiadas de blocos de 4 MPa.

Prisma	Carga (kN)	Resistência (MPa)	Fator de eficiência	Módulo de elasticidade (GPa)	Modo de ruptura
2	280,52	5,14	0,67	10,70	
3	295,2	5,41	0,70	11,39	
4	285,2	5,22	0,68	10,27	ruptura do conjunto
média	273,75	5,01	0,65	11,70	

	potencial	295,20	5,41	0,70	14,45	
4 MPa - 24h	1		4,60	0,60	6,29	tração no bloco
	2	221,96	4,07	0,53	1,85	esmagamento da junta
	3	275,8	5,05	0,66	6,50	esmagamento da junta
	4	255,2	4,67	0,61	4,57	ruptura do conjunto
	média	250,99	4,60	0,60	4,80	
	potencial	275,80	5,05	0,66	6,50	

Tabela 56 – Modo de ruptura dos prismas de três fraldas de blocos de 8 MPa.

Prisma	Carga (kN)	Resistência		Fator de eficiência	Módulo de elasticidade (GPa)	Modo de ruptura
		(MPa)				
8MPa - 0h	1	424,4	7,77	0,54	14,15	tração no bloco
	2	481,8	8,82	0,61	13,14	esmagamento da junta
	3	390,8	7,16	0,50	13,10	ruptura do conjunto
	4	465,6	8,53	0,59	9,56	tração no bloco
	média	440,65	8,07	0,56	12,49	
	potencial	481,80	8,82	0,61	14,15	
8 MPa - 24h	1	634	11,61	0,80	13,25	tração no bloco
	2	597,6	10,95	0,76	14,47	ruptura do conjunto
	3	502,6	9,21	0,64	11,60	ruptura do conjunto
	4	626,6	11,48	0,79	11,13	ruptura do conjunto
	média	590,20	10,81	0,75	12,61	
	potencial	634,00	11,61	0,80	14,47	

Tabela 57 – Modo de ruptura dos prismas de três fiadas de blocos de 14 MPa.

Prisma	Carga	Resistência	Fator de eficiência	Módulo de elasticidade (GPa)	Modo de ruptura	
	(kN)	(MPa)				
14 MPa - 0h	1	10,09	0,44	16,97	ruptura do conjunto	
	2	312,76	5,73	26,35	ruptura do conjunto	
	3	313,8	5,75	0,25	25,55	
	4	462,6	8,47	0,37	18,33	
	média	409,99	7,51	0,33	21,80	
	potencial	550,80	10,09	0,44	26,35	
	1	519,8	9,52	0,42	29,49	tração no bloco
	2	549	10,05	0,44	25,75	ruptura do conjunto
14 MPa - 24h	3	581	10,64	0,47	32,10	tração no bloco
	4	569	10,42	0,46	19,32	tração no bloco
	média	554,70	10,16	0,45	26,66	
	potencial	581,00	10,64	0,47	32,10	

ANEXO 5 – Resultados individuais de absorção de água por capilaridade nos segmentos de blocos de concreto.

Tabela 58 – Absorção de água para blocos de concreto de 4 MPa e face superior (grossa)

Amostra	Absorção de água (g/cm ²)							
	Tempo (min)							
	1	5	10	15	30	60	90	120
1	0,04	0,15	0,38	0,45	0,54	0,59	0,61	0,61
2	0,04	0,19	0,43	0,43	0,47	0,53	0,54	0,57
3	0,15	0,51	0,58	0,63	0,66	0,69	0,71	0,72
4	0,03	0,10	0,27	0,28	0,31	0,40	0,43	0,44
5	0,04	0,13	0,26	0,28	0,29	0,35	0,37	0,38
6	0,06	0,17	0,21	0,28	0,31	0,36	0,38	0,38
7	0,06	0,16	0,16	0,18	0,18	0,18	0,24	0,26
8	0,14	0,27	0,32	0,36	0,38	0,43	0,44	0,46
9	0,08	0,22	0,20	0,23	0,31	0,35	0,38	0,39
10	0,07	0,19	0,43	0,50	0,57	0,58	0,61	0,62
11	0,09	0,18	0,28	0,31	0,37	0,43	0,47	0,49
12	0,10	0,28	0,35	0,39	0,45	0,54	0,55	0,57
média	0,08	0,21	0,32	0,36	0,40	0,45	0,48	0,49
d. pad.	0,030	0,072	0,092	0,101	0,112	0,112	0,105	0,106

Tabela 59 – Absorção de água para blocos de concreto de 4 MPa e face inferior (fina)

Amostra	Absorção de água (g/cm ²)							
	Tempo (min)							
	1	5	10	15	30	60	90	120
1	0,01	0,10	0,244	0,28	0,32	0,352	0,368	0,4
2	0,03	0,14	0,216	0,27	0,35	0,392	0,412	0,432
3	0,05	0,14	0,208	0,31	0,37	0,376	0,384	0,412
4	0,08	0,16	0,232	0,30	0,39	0,448	0,528	0,568
5	0,08	0,08	0,132	0,22	0,30	0,352	0,376	0,404
6	0,07	0,22	0,324	0,41	0,50	0,536	0,588	0,624
7	0,06	0,22	0,348	0,44	0,49	0,548	0,616	0,664

8	0,10	0,10	0,292	0,37	0,45	0,488	0,524	0,584
9	0,11	0,24	0,34	0,54	0,62	0,708	0,768	0,78
10	0,06	0,15	0,228	0,33	0,40	0,484	0,584	0,596
11	0,04	0,12	0,248	0,32	0,41	0,492	0,56	0,568
12	0,05	0,10	0,156	0,28	0,36	0,496	0,524	0,556
média	0,06	0,15	0,25	0,34	0,41	0,47	0,52	0,55
d. pad.	0,023	0,042	0,053	0,067	0,069	0,074	0,090	0,091

Tabela 60 – Absorção de água para blocos de concreto de 8 MPa e face superior (grossa)

Amostra	Absorção de água (g/cm ²)							
	Tempo (min)							
	1	5	10	15	30	60	90	120
1	0,02	0,10	0,20	0,28	0,39	0,48	0,49	0,50
2	0,07	0,12	0,20	0,32	0,42	0,48	0,50	0,50
3	0,04	0,11	0,16	0,43	0,55	0,60	0,64	0,67
4	0,04	0,07	0,16	0,19	0,26	0,29	0,43	0,54
5	0,01	0,18	0,32	0,37	0,40	0,45	0,47	0,50
6	0,07	0,12	0,29	0,50	0,51	0,57	0,85	0,92
7	0,07	0,13	0,20	0,60	0,63	0,67	0,76	0,76
8	0,02	0,02	0,02	0,11	0,21	0,23	0,24	0,26
9	0,04	0,11	0,18	0,28	0,31	0,33	0,33	0,34
10	0,06	0,16	0,26	0,45	0,54	0,55	0,57	0,58
11	0,01	0,00	0,00	0,07	0,08	0,08	0,20	0,36
12	0,01	0,03	0,04	0,07	0,13	0,23	0,42	0,46
média	0,04	0,10	0,17	0,30	0,37	0,41	0,49	0,53
d. pad.	0,019	0,043	0,078	0,138	0,143	0,151	0,144	0,135

Tabela 61 – Absorção de água para blocos de concreto de 8 MPa e face inferior (fina)

Amostra	Absorção de água (g/cm ²)							
	Tempo (min)							
	1	5	10	15	30	60	90	120
1	0,02	0,06	0,148	0,45	0,54	0,696	0,696	0,704

2	0,03	0,12	0,164	0,36	0,48	0,564	0,588	0,616
3	0,04	0,12	0,18	0,23	0,24	0,272	0,284	0,312
4	0,02	0,14	0,212	0,27	0,34	0,392	0,416	0,464
5	0,02	0,11	0,192	0,46	0,60	0,804	0,844	0,86
6	0,03	0,09	0,132	0,22	0,37	0,472	0,488	0,54
7	0,04	0,10	0,168	0,25	0,43	0,656	0,708	0,736
8	0,03	0,00	0,364	0,44	0,51	0,536	0,58	0,616
9	0,03	0,13	0,32	0,33	0,54	0,596	0,672	0,84
10	0,04	0,06	0,196	0,23	0,60	0,776	0,808	0,832
11	0,02	0,00	0,032	0,06	0,22	0,576	0,572	0,752
12	0,03	0,00	0,036	0,08	0,24	0,308	0,336	0,34
média	0,03	0,08	0,18	0,28	0,42	0,55	0,58	0,63
d. pad.	0,008	0,043	0,065	0,104	0,120	0,132	0,137	0,153

Tabela 62 – Absorção de água para blocos de concreto de 14 MPa e face superior (grossa)

Amostra	Absorção de água (g/cm ²)							
	Tempo (min)							
	1	5	10	15	30	60	90	120
1	0,08	0,11	0,14	0,19	0,33	0,37	0,38	0,39
2	0,08	0,10	0,21	0,31	0,33	0,36	0,38	0,40
3	0,09	0,12	0,19	0,32	0,33	0,36	0,39	0,39
4	0,09	0,11	0,13	0,28	0,28	0,36	0,38	0,38
5	0,10	0,15	0,21	0,33	0,34	0,38	0,38	0,41
6	0,14	0,15	0,23	0,36	0,47	0,48	0,50	0,52
7	0,11	0,14	0,23	0,36	0,38	0,42	0,43	0,45
8	0,12	0,19	0,23	0,35	0,38	0,41	0,43	0,45
9	0,11	0,16	0,26	0,41	0,43	0,43	0,45	0,45
10	0,10	0,15	0,07	0,07	0,12	0,13	0,18	0,19
11	0,11	0,22	0,31	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48
12	0,14	0,23	0,27	0,38	0,42	0,46	0,47	0,48
média	0,11	0,15	0,21	0,31	0,35	0,38	0,40	0,41
d. pad.	0,016	0,031	0,050	0,068	0,062	0,058	0,056	0,056

Tabela 63 – Absorção de água para blocos de concreto de 14 MPa e face inferior (fina)

Amostra	Absorção de água (g/cm ²)							
	Tempo (min)							
	1	5	10	15	30	60	90	120
1	0,02	0,00	0,04	0,12	0,25	0,4	0,424	0,424
2	0,01	0,02	0,288	0,37	0,40	0,516	0,572	0,576
3	0,01	0,01	0,012	0,08	0,14	0,16	0,368	0,368
4	0,01	0,02	0,048	0,05	0,08	0,124	0,26	0,276
5	0,02	0,03	0,056	0,19	0,36	0,472	0,512	0,512
6	0,03	0,04	0,08	0,12	0,19	0,272	0,404	0,444
7	0,01	0,04	0,068	0,17	0,19	0,264	0,304	0,384
8	0,01	0,02	0,044	0,13	0,18	0,352	0,432	0,472
9	0,02	0,03	0,052	0,12	0,16	0,276	0,332	0,332
10	0,04	0,04	0,068	0,10	0,14	0,18	0,26	0,26
11	0,02	0,04	0,048	0,12	0,18	0,224	0,312	0,312
12	0,02	0,06	0,1	0,18	0,24	0,328	0,408	0,408
média	0,02	0,03	0,08	0,15	0,21	0,30	0,38	0,40
d. pad.	0,006	0,013	0,040	0,056	0,070	0,097	0,076	0,075

ANEXO 6 – Resultados individuais de aderência em mini-prismas.

Tabela 64 – Avaliação de aderência mini-prismas.

Bloco	Estabilização	Amostra	Carga (N)	Tensão (MPa)
4 MPa	0h	11	248,7828	0,46
		5	218,0892	0,40
		4	104,2328	0,19
		10	122,892	0,23
	24h	1	104,2328	0,19
		7	104,2328	0,19
		3	122,892	0,23
		6	104,2328	0,19
36h	2	53,704	0,10	
Bloco	Estabilização	Amostra	Carga (N)	Tensão (MPa)
8 MPa	0h	3	104,2328	0,19
		7	248,8024	0,46
		1	80,36	0,15
		4	104,2328	0,19
	24h	5	104,2328	0,19
		8	141,6492	0,26
		2	95,55	0,18
		10	122,892	0,23
	36h	6	79,968	0,15
		12	79,968	0,15
Bloco	Estabilização	Amostra	Carga (N)	Tensão (MPa)
14 MPa	0h	5	131,4964	0,24
		11	183,4364	0,34
		9	183,4364	0,34
		12	207,7012	0,38
	24h	4	141,6492	0,26
		1	104,2328	0,19
		7	74,1664	0,14
		10	116,0124	0,21
	36h	6	79,968	0,15
		3	104,2328	0,19
2		104,2328	0,19	

ANEXO 7 – Resultados individuais de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de mini-prismas e prismas de quatro fiadas.

Tabela 65 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de mini-prismas e prismas de quatro fiadas para o traço 1:4.

1:4 (etapa g)	Tempo →	0 h	24 h
0,37% incorporador de ar 0,60% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	14%
	GTec Teste	16 mm	15 mm
		5 golpes	5 golpes
	a/c	0,56	0,81
	H	11,19%	16,04%
	CP's		
	flexão (MPa)	6,09	4,83
	compressão (MPa)	15,46	15,23
	compressão (MPa)	15,41	15,38
	CP's		
	flexão (MPa)	6,66	5,23
	compressão (MPa)	17,53	15,71
	compressão (MPa)	17,65	15,59
	CP's		
	flexão (MPa)	6,89	4,73
	compressão (MPa)	17,14	15,01
	compressão (MPa)	19,34	15,01
	MÉDIA	17,09	15,32
	perda de resist.		10,34
	DESVIO	1,49	0,29
CV (%)	8,70	1,91	

Tabela 66 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de mini-prismas e prismas de quatro fiadas para o traço 1:5,5.

1:5,5 (etapa g)	Tempo →	0 h	24 h
0,37% incorporador de ar 0,60% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	19%	11%
	GTec Teste	16 mm	16 mm
		6 golpes	5 golpes
	a/c	0,65	0,82
	H	9,90%	12,52%
	CP's		
	flexão (MPa)	4,92	4,59
	compressão (MPa)	14,89	8,06
	compressão (MPa)	15,17	8,06
	CP's		
	flexão (MPa)	4,97	4,27
	compressão (MPa)	14,41	8,47
	compressão (MPa)	14,41	8,89
	CP's		
	flexão (MPa)	4,88	3,98
	compressão (MPa)	11,29	7,89
	compressão (MPa)	12,64	7,25
	MÉDIA	13,80	8,10
	perda de resist.		41,29
	DESVIO	1,51	0,55
CV (%)	10,97	6,83	

Tabela 67 – Resultados de avaliação das argamassas estabilizadas na confecção de mini-prismas e prismas de quatro fiadas para o traço 1:7.

1:7 (etapa g)	Tempo →	0 h	24 h
0,37% incorporador de ar 0,60% estabilizador de hidratação	Teor de ar incorporado	20%	13%
	GTec Teste	15 mm	15 mm
		5 golpes	5 golpes
	a/c	0,62	0,80
	H	7,70%	9,90%
	CP's		
	flexão (MPa)	3,2	3,02
	compressão (MPa)	8,44	5,47
	compressão (MPa)	8,44	5,46
	CP's		
	flexão (MPa)	3,00	2,77
	compressão (MPa)	7,13	4,43
	compressão (MPa)	7,24	4,51
	CP's		
	flexão (MPa)	3,02	2,88
	compressão (MPa)	7,43	4,72
	compressão (MPa)	7,43	4,72
	MÉDIA	7,69	4,89
	perda de resist.		36,43
	DESVIO	0,60	0,46
CV (%)	7,76	9,49	

ANEXO 8 – Distribuição granulométrica dos agregados do estudo piloto em laboratório.

Tabela 68 – Distribuição granulométrica das areias natural e de britagem.

#	Areia Natural			Areia de Britagem		
	Massa (g)	%	% Acum.	Massa (g)	%	% Acum.
12,5	0,0	0,00%	0%	0,0	0,00%	0%
9,5	0,0	0,00%	0%	0,0	0,00%	0%
6,3	0,0	0,00%	0%	0,0	0,00%	0%
4,8	0,0	0,00%	0%	11,9	1,72%	2%
2,4	0,0	0,00%	0%	135,3	19,53%	21%
1,2	4,1	0,81%	1%	178,4	25,75%	47%
0,6	44,4	8,73%	10%	98,1	14,16%	61%
0,3	92,0	18,09%	28%	70,0	10,10%	71%
0,15	241,8	47,53%	75%	66,8	9,64%	81%
0,075	109,2	21,47%	97%	53,7	7,75%	89%
Fundo	17,2			78,7	11,36%	
Σ	508,7	Σ	113%		Σ	283%

ANEXO 9 – Fluxograma da metodologia de dosagem.

Figura 69 – Resumo das etapas do desenvolvimento da dosagem.

Traços 1:4; 1:5,5; 1:7

