UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO - COLEGIADO DE ENGENHARIA CIVIL
PROJETO DE GRADUAÇÃO

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ALVENARIAS ESTRUTURAIS DE BLOCOS DE CONCRETO

DAIANE PEREIRA BRAVIM
LÍVIA BISSA GROBÉRIO

VITÓRIA – ES
OUTUBRO/2021

DAIANE PEREIRA BRAVIM
LÍVIA BISSA GROBÉRIO

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ALVENARIAS ESTRUTURAIS DE BLOCOS DE CONCRETO

Projeto de Graduação das alunas Daiane Pereira Bravim e Lívia Bissa Grobério, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

VITÓRIA – ES
OUTUBRO/2021

DAIANE PEREIRA BRAVIM
LÍVIA BISSA GROBÉRIO

INFLUÊNCIA DO TIPO DE ARGAMASSA NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE ALVENARIAS ESTRUTURAIS DE BLOCOS DE CONCRETO

COMISSÃO EXAMINADORA:

_____

Profª. Drª. Rudiele Aparecida Schankoski
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

_____

Prof. Dr. Ronaldo Pilar
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

_____

Profª. Drª. Sayonara Maria de Moraes Pinheiro
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

Vitória - ES, 13 de outubro de 2021

AGRADECIMENTOS

Nossos sinceros agradecimentos a todas as pessoas que foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Em especial, à professora Rudiele Aparecida Schankoski, pela orientação, ensinamentos, dedicação, paciência e todo o incentivo durante a realização desse estudo. Mostrando-se sempre disponível para nos ajudar a solucionar as dificuldades encontradas.

Aos nossos familiares e amigos pela compreensão e carinho, pelo incentivo durante toda nossa vida acadêmica e por sempre nos fazer acreditar na nossa capacidade.

À equipe técnica do LEMAC (Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção), Luana Seidel Albuquerque, por ser tão atenciosa e disposta a ajudar sempre que necessário. Breno Dias Breda, Henrique Horácio Rodrigues e Márcio Antonio Loss, por não medirem esforços para nos auxiliarem nas execuções dos ensaios. Vocês foram primordiais para realização deste trabalho.

Ao professor Ronaldo Pilar, pelas contribuições em nos ensinar e auxiliar no assentamento dos prismas. Além de aceitar avaliar este trabalho.

À professora Sayonara Maria de Moraes Pinheiro pelos ensinamentos e primeiro contato com os estudos com materiais de construção civil e também por aceitar avaliar este trabalho.

Enfim, agradecemos a todas as pessoas que de forma direta ou indireta contribuíram para alcançarmos nossos objetivos.

RESUMO

A alvenaria estrutural consiste em um sistema costrutivo que, além de proporcionar proteção e divisão de ambientes, resiste aos esforços estruturais. É um sistema racionalizado, quando adequadamente planejada, torna-se eficaz no que diz respeito à garantir sustentação aos esforços internos e externos. Na busca pela ampliação dos conhecimentos desse método construtivo, esse trabalho teve como objetivo estudar o desempenho de três tipos de argamassa: mista, industrializada e estabilizada e suas influências na alvenaria estrutural de blocos de concreto, por meio do ensaio de resistência à compressão de prismas. A análise foi conduzida com base em resultados de ar incorporado, retenção de água, trabalhabilidade, resistência à compressão e tração na flexão das argamassas; e resistência à compressão e mecanismos de ruptura de prismas. Ao final do estudo pode-se concluir que, entre as argamassas analisadas, a mais adequada para o assentamento de alvenaria estrutural, foi a argamassa mista. Os fatores de eficiência gerados com o uso da argamassa estabilizada foram os mais baixos e resultaram em ruptura por esmagamento da junta. As argamassas industrializadas demonstraram divergências nos fatores de eficiência e modo de ruptura, ora rompendo por tração no bloco, ora por esmagamento na junta. As argamassas mistas, emboram mostraram maior perda de trabalhabilidade durante o tempo de assentamento, apresentaram maiores fatores de eficiência e modos de ruptura por tração no bloco e ruptura do conjunto.

Palavras-chave: Alvenaria estrutural. Argamassa. Bloco de concreto. Prisma.

ABSTRACT

Structural masonry not only provides protection and room for environments, but also resists structural efforts. It is a rationalized constructive system, when properly planned, becomes effective in ensuring support for internal and external efforts. However structural masonry is a construction technology dating from the 17th century, it continues to be in development and is widely used to date. In seeking to expand the knowledge of this constructive method, the objective of this work was to study the performance of three types of mortar: Mixed, industrialized and stabilized, and their influence on structural masonry, by means of the test of resistance to the compression of prisms. The analysis was conducted based on results of incorporated air, water retention, workability, compression resistance and traction on the flexion of mortars; and resistance to compression and prisms rupture mechanisms. At the end of the study, it can be concluded that of the mortars analyzed, the most suitable for the structural masonry settlement, was the mixed mortar. The efficiency factors generated with the use of the stabilized mortar were the lowest and resulted in crushing joint rupture. The industrialized mortars showed divergences in efficiency factors and rupture mode, the most efficient ones rupture by traction in the block while the least efficient by crushing in the joint. Mixed mortars, however many presented greater loss of workability during the settling time, presented greater efficiency factors and traction rupture modes in the block and rupture of the set.

Key-words: Structural masonry. Mortar. Concrete block. Prisms.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ensaio de tração na flexão com prismas de cinco fiadas.....43
Figura 2 - Espessura das paredes do bloco estrutural. 49
Figura 3 - Aditivos utilizados na produção da argamassa estabilizada. 52
Figura 4 - Mesa para índice de consistência (a), funil de Büchner modificado (b) e recipiente cilíndrico rígido para determinar massa específica. 53
Figura 5 - Corpo de prova prismático (a) e corpo de prova cilíndrico (b). 54
Figura 6 - Ensaio de resistência à compressão de prisma. 55
Figura 7 - Metodologia desenvolvida no projeto. 56
Figura 8 - Pesagem (a) e identificação dos blocos (b). 57
Figura 9 - Capeamento dos blocos. 58
Figura 10 - Misturador elétrico portátil. 59
Figura 11 - Procedimento de mistura utilizado para argamassa estabilizada: (a) parte da água, (b) materiais secos, (c) restante da água e (d) aditivos. 60
Figura 12 - Corpos de prova prismáticos: estabilizada (a), industrializada (b) e mista (c). 61
Figura 13 - Corpos de prova cilíndricos. 61
Figura 14 - Junta antes e imediatamente após o assentamento do bloco. 62
Figura 15 - Nivelamento e verificação do prumo. 63
Figura 16 - Prismas moldados. 63
Figura 17 - Ensaio de resistência à compressão do prisma (a) do bloco de concreto (b). 63
Figura 18 - Gráfico de Resistência à compressão x Fator água/cimento. 68
Figura 19 - Ensaio de índice de consistência: argamassa estabilizada (a), industrializada (b) e mista (c). 69
Figura 20 - Cal que não foi incorporada corretamente à argamassa. 70
Figura 21 - Resultados dos ensaios no estado endurecido. 72
Figura 22 - Corpo de prova de argamassa estabilizada após fresagem. 73
Figura 23 - Comparativo entre resistência à compressão das argamassas, prismas e fator de eficiência. 74
Figura 24 - Modo de ruptura por esmagamento da junta - argamassa estabilizada..77
Figura 25 - Ruptura por tração no bloco. 77
Figura 26 - Ruptura do conjunto. 78

Figura 27 - Retenção de água x fator de eficiência. 79
Figura 28 - Teor de ar incorporado x fator de eficiência. 79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores característicos de resistência à tração.....44
Tabela 2 - Laudo do ensaio de resistência à compressão fornecido pelo fabricante..49
Tabela 3 - Características do agregado miúdo utilizado. 50
Tabela 4 - Propriedades do cimento. 50
Tabela 5 - Características do produto e recomendações do fabricante. 51
Tabela 6 - Propriedade dos aditivos empregados. 52
Tabela 7 - Resistência à compressão e massa dos blocos ensaiados. 65
Tabela 8 - Resultados de absorção dos blocos. 66
Tabela 9 - Propriedades dos blocos de concreto. 66
Tabela 10 - Resultados dos três traços preliminares de argamassa mista. 67
Tabela 11 - Resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco. 69
Tabela 12 - Cálculo da resistência média e fator de eficiência dos prismas. 73
Tabela 13 - Cargas e modos de ruptura. 76

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12

1.1 OBJETIVOS 13

1.1.1 Objetivo Geral 13

1.1.2 Objetivos Específicos 13

2 ALVENARIA ESTRUTURAL E SEUS COMPONENTES 15

2.1 BLOCOS 16

2.1.1 Blocos de Concreto 17

2.1.2 Blocos Cerâmicos 18

2.2 ARGAMASSA 19

2.2.1 Materiais Constituintes 19

2.2.1.1 Cimento 20

2.2.1.2 Cal 20

2.2.1.3 Agregado Miúdo 21

2.2.1.4 Aditivos 21

2.2.1.5 Água 23

2.2.2 Tipos de Argamassa de Assentamento 23

2.2.2.1 Argamassa Mista 24

2.2.2.2 Argamassa Industrializada 24

2.2.2.3 Argamassa Estabilizada 26

2.2.3 Propriedades do Estado Fresco 26

2.2.3.1 Trabalhabilidade 27

2.2.3.2 Massa específica e teor de ar incorporado 29

2.2.3.3 Retenção de água 30

2.2.3.4 Adesão 32

2.2.4 Propriedades do Estado Endurecido 32

2.2.4.1 Resistência à compressão 33

2.2.4.2 Resistência à tração na flexão 34

2.2.4.3 Módulo de Elasticidade 35

2.2.4.4 Aderência *36*

3 DESEMPENHO DA ALVENARIA ESTRUTURAL 37

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 37

3.1.1 Influência dos componentes na resistência à compressão da alvenaria 40

3.2 ADERÊNCIA ENTRE BLOCO E JUNTA 42

3.3 INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA NO DESEMPENHO 45

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL 48

4.1 MATERIAIS 48

4.1.1 Blocos 48

4.1.2 Argamassa Mista 50

4.1.2.1 Agregado Miúdo *50*

4.1.2.2 Cimento *50*

4.1.2.3 Cal *51*

4.1.3 Argamassa Industrializada 51

4.1.4 Argamassa Estabilizada 52

4.1.4.1 Agregado miúdo e Cimento *52*

4.1.4.2 Aditivos *52*

4.2 ENSAIOS 53

4.2.1 Blocos de Concreto 53

4.2.2 Argamassa de Assentamento 53

4.2.3 Prisma 55

4.3 METODOLOGIA 55

4.3.1 Blocos 57

4.3.2 Produção das Argamassas 58

4.3.3 Moldagem de Prismas 62

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 65

5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS BLOCOS DE CONCRETO 65

5.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS 67

5.2.1 Estudo de dosagem da argamassa mista 67

5.2.2 Resultados no estado fresco 68

5.2.3 Resultados no estado endurecido 71

5.3 PROPRIEDADES DOS PRISMAS.....73

6 CONCLUSÕES 81

7 REFERÊNCIAS 83

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria é utilizada como estrutura há milhares de anos. Muitas obras monumentais foram construídas, utilizando-se da capacidade portante da alvenaria (PRUDÊNCIO et al., 2002). As pirâmides do Egito e a Muralha da China são exemplos de uso dessa técnica. No início eram utilizados métodos empíricos e as estruturas eram bem mais robustas. No presente, há uma busca constante para o aprimoramento das técnicas construtivas, desenvolvimento de pesquisas e o emprego de diferentes materiais.

Na construção em alvenaria estrutural, a unidade básica modular é o bloco, que unido pela junta de argamassa forma as paredes, as quais são encarregadas de absorver todas as ações atuantes na vertical e horizontal (MOHAMAD, 2020). A interação entre o bloco e argamassa de assentamento inicia-se no momento em que a argamassa, no seu estado fresco, é disposta sobre a superfície do bloco. Esse primeiro contato permite a adesão entre os componentes (CASALI, 2008).

Para entender a complexidade do comportamento da alvenaria estrutural, deve-se conhecer e caracterizar os diferentes materiais que a compõem, pois, seu desempenho está diretamente relacionado com as combinações dos materiais e a forma como são executadas.

Prudêncio et al. (2002) afirmam que os blocos de concreto resultam em maiores fatores de eficiência (razão entre a resistência do prisma e a resistência do bloco), possuem um módulo de elasticidade similar ao da junta de argamassa, e ainda, podem ser produzidos em resistências variadas, diferentes formas, cores e texturas, por isso, existe uma opção preferencial por eles no Brasil.

As argamassas de assentamento fazem a ligação entre os blocos, transmitindo e uniformizando as tensões entre as unidades, absorvendo pequenas deformações. Além disso, evitam a entrada de água e de vento nas edificações. Para desempenhar suas funções, elas devem reunir boas características de trabalhabilidade, resistência, plasticidade e durabilidade (RAMALHO e CORRÊA, 2003).

As argamassas mais utilizadas são as argamassas mistas, elas são constituídas por cimento, cal, agregado miúdo e água, e produzidas na obra. Quando bem dosadas apresentam as vantagens do cimento e da cal. O cimento garante o ganho de resistência à compressão em idades iniciais e a presença de cal na mistura garante a trabalhabilidade desejada (MOHAMAD et al. 2010 apud LOZOVEY, 2018).

Por outro lado, visando diminuir a responsabilidade da dosagem das argamassas em obra e com o objetivo de aumentar a produtividade e reduzir o espaço destinado ao armazenamento de materiais, muitas empresas estão optando por utilizar argamassas industrializadas. Apesar da crescente utilização, o emprego desse tipo de argamassa para assentamento de alvenaria estrutural geralmente não apresenta resultados satisfatórios (SCHANKOSKI et al., 2015).

Outro tipo de argamassa que tem potencial para propiciar maior padronização, produtividade e reduzir os desperdícios, é a argamassa estabilizada. Ela consiste em uma mistura produzida em centrais dosadoras, com uso de aditivos estabilizadores de hidratação, e podem ser armazenadas prontas em recipientes na obra, mantendo-se trabalhável por longos períodos. Apesar do crescente uso no Brasil, a oferta desse material em centrais dosadoras no Espírito Santo é praticamente inexistente (MELLO; PILAR; SCHANKOSKI, 2020).

A compatibilização entre a resistência da argamassa e do bloco é importante para a obtenção de um melhor desempenho à compressão da alvenaria estrutural. De forma que, em casos de ruptura, a estrutura dê sinais como: o esfacelamento da argamassa e surgimento de fissuras (MOHAMAD, 1998 apud SCHANKOSKI, 2012).

Neste contexto, o estudo proposto preocupou-se em abordar três tipos de argamassa de assentamento (mista, industrializada e estabilizada) para alvenaria estrutural de bloco de concreto vazado. Visto que, a escolha da argamassa influencia diretamente no desempenho da alvenaria e é de suma importância a avaliação das propriedades e da influência das mesmas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve por objetivo estudar a influência do tipo de argamassa (mista, industrializada e estabilizada) no desempenho da alvenaria estrutural confeccionadas com blocos de concreto, no que se refere ao fator de eficiência e mecanismo de ruptura da alvenaria.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as propriedades no estado fresco de argamassas mistas, estabilizadas e industrializadas com a mesma classe de resistência para utilização em alvenaria estrutural de blocos de concreto;
- Avaliar as propriedades no estado endurecido de argamassas mistas, estabilizadas e industrializadas com a mesma classe de resistência para utilização em alvenaria estrutural de blocos de concreto;
- Analisar e comparar o comportamento mecânico de prismas de blocos de concreto, moldados com argamassas mistas, estabilizadas e industrializadas com a mesma classe de resistência, submetidos à compressão, avaliando o fator de eficiência da alvenaria e seu modo de ruptura.

2 ALVENARIA ESTRUTURAL E SEUS COMPONENTES

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo em que as paredes apresentam função portante e não só de vedação, ou seja, são projetadas de modo a serem capazes de resistir aos esforços a que estão submetidas, sendo estes predominantemente de compressão. Essa capacidade de suporte é proveniente basicamente da interação entre as unidades de alvenaria e a argamassa (PRUDÊNCIO et al., 2002).

Essa técnica construtiva é utilizada desde a antiguidade e, a partir da década de 60, apresentou um crescimento gradativo em sua aplicação e evolução técnica no Brasil. Atualmente, mostra-se um sistema competitivo frente a outras técnicas, principalmente em virtude de suas características de desempenho e a possibilidade de racionalização do processo construtivo e de materiais (MAMEDE, 2001; MOHAMAD, 2015).

De acordo com Sabatini (1984) o uso da alvenaria estrutural mostra-se vantajoso, pois elimina alguns problemas que as construções convencionais podem apresentar, como, fissuras ocasionadas pelo movimento diferencial entre elementos. Para Hendry (2001), a utilização desse sistema traz ainda benefícios como redução de custos e capacidade operacional mantida por longos períodos, necessitando de relativamente poucas manutenções.

A construção em alvenaria estrutural pode ser classificada em três tipos: não armada, armada e parcialmente armada. Para ser considerada alvenaria estrutural não armada, as paredes são constituídas de blocos assentados com argamassas, contendo armaduras com funções não consideradas no cálculo dos esforços. Quando os blocos possuem armaduras projetadas para absorver esforços e são preenchidos com graute que as envolvem, a alvenaria estrutural é considerada armada. Bem como, a alvenaria estrutural parcialmente armada é uma junção das duas anteriores, ou seja, algumas paredes são de alvenaria armada e outras não armadas (PRUDÊNCIO et al., 2002).

Segundo Prudêncio et al. (2002), as paredes de um edifício de alvenaria estrutural devem ser dimensionadas para resistir a quatro tipos de esforços principais: compressão, cisalhamento, flexão no plano e fora do plano da alvenaria. E afirmam ainda, que o esforço mais relevante é a compressão, sendo essa a situação em que a alvenaria não armada apresenta melhor resistência.

O escopo deste trabalho compreende a alvenaria estrutural não armada e seus

componentes. É válido destacar que na alvenaria não armada, o aço encontra-se presente por razões construtivas. É empregado, por exemplo, em vergas e contravergas, evitando assim, possíveis trincas e fissuras oriundas da acomodação da estrutura, ações do vento, movimentações térmicas, entre outros (TAUIL et al., 2010).

Os principais componentes da alvenaria estrutural são: blocos, argamassa, graute e armadura (RAMALHO; CORRÊA, 2003). Sendo, os dois últimos, mais relevantes na alvenaria estrutural armada. Conforme Mohamad (2015), a junção desses diferentes materiais traz uma certa dificuldade em analisar o comportamento mecânico do conjunto.

Desta forma, é fundamental conhecer e analisar isoladamente o comportamento dos elementos constituintes da alvenaria estrutural para entender o funcionamento do conjunto e a forma como cada um deles influencia em suas propriedades. A seguir, serão apresentadas informações relevantes sobre as propriedades dos componentes da alvenaria estrutural não armada: blocos e argamassas.

2.1 BLOCOS

As unidades (blocos) são a parte mais importante que compõem a alvenaria estrutural, visto que são os responsáveis por comandar a resistência à compressão, sendo esse o principal esforço ao qual o sistema é submetido (CAMACHO, 2006). As unidades mais utilizadas são blocos cerâmicos, de concreto e sílico-calcários, sendo os dois primeiros os mais utilizados e os que serão abordados nessa revisão de literatura. As características dos blocos afetam diretamente no desempenho da estrutura, e suas propriedades dependem do material utilizado e do controle do processo de fabricação (PRUDÊNCIO et al., 2002).

De acordo com a ABNT NBR 16868-1 (2020), que fornece os requisitos para os projetos em alvenaria estrutural, a especificação dos blocos de concreto e cerâmico devem ser feitas de acordo com as diretrizes das normas ABNT NBR 6136 (2016) e ABNT NBR 15270-1 (2017), respectivamente. As referências normativas estabelecem que as unidades de alvenaria devem atender a uma série de requisitos para aceitação. Entre eles, são relevantes algumas características, como a resistência à compressão, absorção de água e características geométricas.

A resistência à compressão é o principal requisito para aceitação do lote de unidades entregue em obra, e deve ser realizado por amostragem e cálculo estatístico

da resistência estimada. A absorção de água é definida por meio de ensaios que determinam a diferença entre o peso saturado e o peso seco. Esse índice precisa ser tal que não ofereça prejuízo à aderência na interface bloco/argamassa e nem acarrete problemas na argamassa de assentamento (BARBOSA et al., 2005 apud SCHANKOSKI, 2012). Em relação às características geométricas são observados parâmetros como medida das faces, planeza, espessura dos septos e paredes externas dos blocos. Tais parâmetros são importantes para garantir o desempenho do bloco e evitar que apareçam juntas de concentração de tensões (ROMAN et al, 1999).

2.1.1 Blocos de Concreto

Para a ABNT NBR 6136 (2016), o bloco de concreto vazado é definido como um elemento de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta. Do ponto de vista de materiais, é constituído por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e aditivos, e são produzidos por um processo de vibro compactação, em tamanhos variados e com resistências que variam de 4,0 a 20 MPa para blocos estruturais (MOHAMAD et al., 2007 a,; SCHANKOSKI, 2012).

No processo produtivo dos blocos, a mistura homogênea dos materiais é conduzida ao equipamento de vibro compactação, o qual faz com que o concreto preencha os moldes e atinja a forma desejada, por meio do processo simultâneo de vibração e prensagem (FRASSON, 2000).

De acordo com Frasson (2000), o grau de compactação que o equipamento é capaz de imprimir nesse concreto interfere significativamente nas propriedades do produto final, em especial na resistência à compressão e grau de absorção. Além do grau de compactação, é de extrema importância a adoção de um processo adequado de cura.

Os requisitos e propriedades do produto final são normatizados pela ABNT NBR 6136 (2016). Entre eles, a resistência mecânica, geometria e a absorção de água são os mais relevantes. Ainda de acordo com a referência normativa, para blocos de concreto estruturais a resistência mínima à compressão independente de sua geometria é de 4,0 MPa e a absorção individual está limitada a 10%. A norma permite ainda que sejam utilizados blocos estruturais com resistência à compressão de 3,0 MPa, com limite de 11% de absorção, desde que sejam respeitados alguns limites geométricos e de altura da edificação.

Segundo esta mesma norma, é feita uma caracterização dos blocos que varia de acordo com classes e dimensões nominais. Os blocos da classe A possuem função estrutural e podem ser utilizados abaixo ou acima do nível do solo. Já os blocos da classe B são utilizados aplicados apenas acima do nível do solo. Para a classe C os blocos podem ou não assumir função estrutural e são utilizados em elementos de alvenaria acima do nível do solo. A resistência à compressão mínima é definida em função da classe do bloco.

Há uma preferência na utilização de blocos de concreto para as construções em alvenaria estrutural. Este fato é justificado por uma série de fatores como possibilidade de produção em variadas resistências características, melhor fator de eficiência (relação entre a resistência do prisma e do bloco), entre outros (PRUDÊNCIO et al., 2002, SCHANKOSKI, 2012).

2.1.2 Blocos Cerâmicos

A matéria-prima utilizada na fabricação da cerâmica vermelha é a argila, material terroso de baixa granulometria, proveniente da decomposição de rochas. A argila pode ser calcária ou não calcária. Quando cozida, a primeira produz um bloco de cor amarelada, enquanto a não calcária possui ferro e feldspato e produz blocos com tons avermelhados. Para produzir os blocos cerâmicos, a argila é misturada com água, o que lhe confere plasticidade suficiente para ser moldada e passar pelo processo de queima a altas temperaturas sem que suas partículas se desintegrem (MOHAMAD et al., 2007).

Os blocos cerâmicos são fabricados em diferentes formatos, sendo que, para alvenaria estrutural, podem possuir três categorias: com paredes vazadas, com paredes maciças e os perfurados. As especificações de fabricação, que consistem nas características: medida das faces, espessura dos septos, espessura das paredes externas, desvio em relação ao esquadro, planeza das faces e índice de absorção de água, estão recomendadas na ABNT NBR 15270-2 (2017).

Também conhecida como sucção inicial, a absorção de água tem interferência direta na aderência entre o bloco e a argamassa, e segundo a ABNT NBR 15270-1 (2017), deve estar entre 8% e 21%. Dessa forma, quando a absorção é maior que 21%, significa que o bloco perde muita água, e essa perda excessiva pode dificultar no momento do assentamento, pois há prejuízo na trabalhabilidade, não restando tempo

suficiente para o nivelamento da argamassa. Quando é menor que 8%, pode gerar fraca aderência entre a argamassa e o bloco.

A resistência da alvenaria está diretamente relacionada à resistência dos blocos, com isso, a resistência à compressão da alvenaria aumenta consideravelmente com a resistência dos blocos (RIZZATTI et al., 2011). Portanto, existem requisitos mínimos e exigências de projeto que precisam ser atendidos. Segundo a NBR 15270-1 (2017), a resistência à compressão dos blocos estruturais não deve ser menor que 4,0 MPa.

2.2 ARGAMASSA

Segundo Carasek (2010, p. 893), “argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais”. Elas podem ser classificadas com relação a vários critérios. Em relação à função na construção pode-se separar em argamassas de revestimento e argamassas de assentamento, sendo a última, a abordada no escopo deste trabalho.

A argamassa de assentamento é aquela responsável pela união das unidades de alvenaria, ou seja, aquela que constitui as juntas, com intuito de formar paredes ou muros. Além disso, ao formar um conjunto monolítico, contribui para a resistência aos esforços, garante a estanqueidade, distribui uniformemente as cargas atuantes por todo o bloco e é capaz de acomodar pequenas deformações da alvenaria (CARASEK, 2010).

Apesar de representar uma pequena fração de volume (cerca de 7%), a argamassa representa grande influência no comportamento da alvenaria. Para que seu desempenho seja satisfatório, é necessário que apresente algumas características importantes, como resistência e durabilidade compatíveis com a unidade de alvenaria, aderência, trabalhabilidade, retenção de água e resiliência. A quantificação dessas características depende principalmente dos materiais constituintes da argamassa e da unidade de alvenaria com a qual sofre interação (HENDRY, 2001; PRUDÊNCIO et al., 2002).

2.2.1 Materiais Constituintes

Os principais materiais constituintes da argamassa consistem em aglomerantes (cimento e/ou cal), agregado miúdo (areia), aditivos e água. A seleção desses materiais é importante, uma vez que impactam significativamente nas propriedades do estado fresco e endurecido das argamassas com eles confeccionadas.

2.2.1.1 Cimento

Os cimentos comumente utilizados na produção de argamassas de assentamento são os dos tipos Composto (CP-II) e com Alta Resistência Inicial (CP-V), mas outros tipos também podem ser empregados (PRUDÊNCIO et al., 2002).

De acordo com Prudêncio et al. (2002), as principais funções do cimento nas argamassas são as de conferir resistência, aumentar a aderência com o substrato, além de contribuir para propriedades como trabalhabilidade e retenção de água. Contudo, é preciso cuidado, pois argamassas com alto teor de cimento apresentam problemas de retração, o que pode ter impacto negativo na aderência. Além disso, argamassas com maior consumo de cimento tem redução da capacidade de acomodar deformações no estado endurecido (SCHANKOSKI, 2012).

Segundo Carasek (2010), a finura do cimento é uma característica que influencia significativamente na aderência da argamassa. O emprego de cimentos mais finos como o CP-V ARI, resulta em maiores resistências de aderência tanto nas idades iniciais quanto na resistência final da argamassa. No entanto, ao utilizar o cimento CP-V ARI devem ser tomados cuidados quanto à retração.

Observa-se ainda que, as argamassas produzidas com a utilização de cimentos de endurecimento lento e com maior superfície específica, podem produzir argamassas mais resilientes e apresentar melhora nas características de trabalhabilidade e retenção de água. Essas características são encontradas em cimentos compostos por materiais pozolânicos e escórias (ROMAN et al., 1999; PRUDÊNCIO et al., 2002).

2.2.1.2 Cal

Segundo a ABNT NBR 7175 (2003), cal hidratada é o pó obtido pela hidratação da cal virgem, resultado da mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio. Para a argamassa, a função desse material aglomerante é melhorar a plasticidade e conceder maior retenção de água.

A plasticidade conferida à argamassa, faz com que a mesma tenha maior

capacidade de preencher a superfície do substrato, ou seja, confere uma maior extensão de aderência. Além disso, a reação de carbonatação, que acontece com o tempo, proporciona a minimização da fissuração (CARASEK, 2010).

Também pode-se mencionar que devido à sua área específica elevada, a cal confere maior retenção de água à argamassa, fazendo com que a água continue na mistura e não se perca totalmente para o substrato (unidade de alvenaria) (ISHKAWA, 2003). Além disso, a utilização da cal proporciona uma redução do módulo de elasticidade da argamassa e aumento da sua resiliência (SABBATINI, 1986 apud CASALI, 2003).

2.2.1.3 Agregado Miúdo

O agregado miúdo atua como um material inerte e tem como função a redução da proporção de aglomerante, permitindo uma redução de custo, devido ao maior rendimento da mistura. Além disso, possui potencial de diminuir os efeitos de retração causados pelo excesso de cimento (PRUDÊNCIO et al, 2002).

Para Prudêncio et al. (2002), a areia mais indicada para uma argamassa de assentamento deve ser aquela que passa integralmente pela peneira 1,2 mm e não possui mais que 10% de material passante na peneira 0,075 mm. Visto que, altos teores de finos (partículas inferiores à 0,075 mm) podem fazer com que no momento da sucção do substrato, os pulverulentos de areia tomem o lugar dos produtos de hidratação de cimento, dificultando a aderência (CARASEK, 2010). Além disso, é importante a granulometria bem distribuída para a redução de vazios da argamassa endurecida.

2.2.1.4 Aditivos

Os aditivos mais utilizados na produção de argamassas são os redutores de água (plastificantes), retentores de água e os incorporadores de ar. Esses compostos são adicionados com o objetivo de melhorar as características da argamassa, como: conferir melhora na trabalhabilidade e redução do consumo de água (CARASEK, 2010; SCHANKOSKI, 2012). De acordo com Casali (2008), os aditivos incorporadores de ar podem ser empregados na argamassa como substitutos da cal. A seguir, são listadas algumas características dos aditivos que se relacionam com este trabalho.

- Redutores de água:

A ABNT NBR 11768-1 (2019), divide os aditivos redutores de água em tipo 1 e 2, os redutores de água tipo 1 são comercialmente conhecidos por aditivos plastificantes, enquanto os do tipo 2 são conhecidos como superplastificantes. A norma define esses aditivos como aqueles que conseguem modificar a consistência da mistura sem alteração da quantidade de água.

O nome do aditivo já indica sua principal função, reduzir o teor de água na mistura, geralmente entre 5 a 10%, quer dizer que um dos objetivos dos redutores de água é a redução da relação água/cimento sem alterar a trabalhabilidade (NEVILLE, 2016).

- Retentores de água:

De acordo com Schankoski (2012), os aditivos retentores de água são uma das maneiras de complementar a capacidade de retenção de água das argamassas. Os polímeros com capacidade de retenção de água comumente utilizados na indústria são polímeros à base de celulose, mais precisamente éteres de celulose (CASALI, 2008).

De acordo com Afridi et al. (1995) citado por Schankoski (2012), os éteres de celulose promovem o aumento na retenção de água e minimizam a quantidade de água absorvida pelo substrato, contribuindo para a produtividade, visto que aumentam o tempo em aberto da argamassa. Sua utilização provoca aumento na viscosidade da argamassa, sendo também conhecidos como promotores de viscosidade. Além disso, ela torna-se mais coesa e há incorporação de ar na mistura (OHAMA ,1984 apud CASALI , 2008).

E ainda, a utilização de retentores de água tende a atraso no processo de hidratação do cimento, podendo provocar perdas no desempenho mecânico da argamassa (PATURAL et al., 2011 apud SCHANKOSKI, 2012).

- Incorporadores de ar:

A utilização dos incorporadores de ar na argamassa, permite a produção de um número controlado de bolhas microscópicas e estáveis de ar, que se dispersam uniformemente na mistura (RIXON; MALVAGANAM, 1999 apud ALVES, 2002). Além disso, esse aditivo tem característica tensoativa, que atua de forma a reduzir a tensão superficial da pasta de cimento, promovendo desta forma um aumento de plasticidade e retenção de água na argamassa. A união desses fatores permite que a pasta de cimento molhe os grãos de areia, favorecendo a trabalhabilidade (SOLÓRZANO, 1994

apud CASALI, 2003).

É importante que a dosagem do aditivo incorporador de ar na argamassa seja feita com cautela, pois altos teores de ar incorporado podem causar problemas de aderência da argamassa com o substrato (CARASEK, 2010).

- Estabilizadores de hidratação:

Os estabilizadores de hidratação são funcionalmente classificados como aditivos tipo retardador, porém apresentam algumas diferenças em relação aos retardadores convencionais. Os estabilizadores agem sobre todos os minerais do clínquer, promovendo a prorrogação do início das reações de hidratação do cimento através da redução da quantidade de sulfato de cálcio disponível, inibindo assim formação do silicato de cálcio. Sua utilização promove um aumento do tempo de início de pega (ANTONIAZZI et al., 2020; SOUZA, 2007).

2.2.1.5 Água

Segundo Casali (2008), a água é o componente que apresenta a principal influência na trabalhabilidade da argamassa. A água utilizada na produção de argamassas deve ser de boa qualidade, de preferência potável, obtida na rede pública de abastecimento. Caso não seja viável a utilização de água potável, é necessário que sejam realizados testes para verificar a qualidade, pois a presença de sais solúveis e outras substâncias nocivas podem gerar problemas em suas propriedades (CARASEK, 2010).

2.2.2 Tipos de Argamassa de Assentamento

Como explanado anteriormente, a argamassa de assentamento precisa ser resistente, durável e capaz de evitar a penetração de água, ou seja, deve ser um adesivo que une as unidades de alvenaria. Nem sempre, uma argamassa com alta resistência é a melhor opção, se a mesma não possuir boa trabalhabilidade e aderência. Muitas vezes, uma argamassa com alto consumo de cimento e alta resistência à compressão possui características de retração, podendo fissurar facilmente (PRUDÊNCIO et al., 2002).

Para Prudêncio et al. (2002), a escolha da argamassa deve considerar dois fatores: não existe um único tipo de argamassa que seja ideal para todos os tipos de

aplicações e a argamassa não deve ter resistência à compressão superior à requerida pelas exigências estruturais. Por isso, a seleção de uma argamassa deve ser balanceada de acordo com as necessidades apresentadas pelo projeto e as características almejadas.

Pode-se separar as argamassas em três grupos: as argamassas dosadas em obra (mistas), as industrializadas e as estabilizadas. Essas argamassas serão englobadas no escopo deste trabalho e serão apresentadas a seguir as características gerais e uma comparação entre elas.

2.2.2.1 Argamassa Mista

As argamassas mistas são compostas por dois aglomerantes: cimento e cal. O cimento permite um aumento da resistência à compressão, enquanto, a cal melhora a trabalhabilidade e a retenção de água da mistura. Assim, a combinação desses materiais faz com que as vantagens de cada material se complementem e forneçam melhor desempenho à mistura com eles produzida (MOHAMAD et al., 2007).

A presença de cal confere a mistura uma maior capacidade de incorporação de areia. Isso acontece porque a grande quantidade de pequenas partículas da cal permite que mais areia seja agregada à uma mesma quantidade de pasta, sem causar prejuízos na trabalhabilidade, resultando em uma argamassa mais econômica. Além do que, a adição de cal proporciona maior tempo de manuseio, devido ao retardamento do endurecimento (SOLÓRZANO, 1994 apud CASALI, 2003).

As argamassas mistas de cimento e cal mostram desempenho satisfatório na utilização para assentamento de alvenaria estrutural, sendo essas as mais utilizadas (PRUDÊNCIO et al., 2002; CASALI, 2008). De acordo com Schankoski (2012), as argamassas mistas são as mais adequadas para a utilização em alvenaria estrutural, visto que somam as qualidades dos materiais empregados e minimizam seus defeitos.

2.2.2.2 Argamassa Industrializada

Argamassa industrializada consiste em uma mistura proveniente de processo controlado e dosagem precisa, em instalação industrial, fornecida embalada ou a granel (ABNT NBR 13529, 2013). Compostas principalmente por agregados de granulometria fina, fileres minerais, cimento Portland e aditivos (plastificantes, retentores de água e incorporadores de ar), são comercializadas pré misturadas, ou seja, necessitam de apenas de uma dosagem adequada de água. Esses aditivos

adicionados à mistura, geralmente, tornam as argamassas industrializadas mais trabalháveis em relação às convencionais (YOSHDA e BARROS, 1995 apud CASALI, 2003). Vale ressaltar que algumas argamassas industrializadas podem ser comercializadas úmidas, como as poliméricas.

A utilização das argamassas industrializadas aumentou nos últimos tempos devido a necessidade de melhorar a produtividade e diminuir a responsabilidade de dosagem na obra. Nelas a cal, geralmente é substituída por aditivos, plastificantes ou incorporadores de ar. E em relação às argamassas mistas dosadas em obra, as industrializadas tendem a possuir menor resistência de aderência e à compressão (MOHAMAD et al., 2007).

Casali (2003) verificou que algumas propriedades são afetadas pelo tempo de mistura despendido na produção da argamassa industrializada em obra, principalmente o teor de ar incorporado. Romano et al. (2009) afirmam que, apesar de apresentarem controle de dosagem de seus constituintes, as argamassas industrializadas são sensíveis não só ao tempo de mistura, como também ao equipamento utilizado. Observaram ainda que o teor absoluto de ar incorporado apresentou crescimento linear à medida que se aumentou o tempo de mistura, e que houve redução das propriedades no estado endurecido, como resistência mecânica e módulo de elasticidade.

Apesar disso, resultados obtidos por Vieira (2019) mostraram que a utilização de argamassas industrializadas para assentamento de alvenaria estrutural em blocos de concreto apresenta-se tecnicamente viável, visto que, os prismas moldados apresentaram fator de eficiência próximo a 70% e, de forma geral, a argamassa estudada apresentou desempenho adequado tanto nas propriedades do estado fresco, quanto no estado endurecido.

De acordo com estudos comparativos entre argamassas mistas e industrializadas para assentamento de alvenaria estrutural em bloco de concreto, Casali (2003) verificou que os valores para o fator de eficiência obtido em prismas moldados com argamassa mista de cimento e cal foram superiores aos confeccionados com argamassa industrializada, quando comparadas argamassas com mesma classe de resistência à compressão e módulos de elasticidade semelhantes. Os resultados obtidos para prismas moldados com argamassa com resistência à compressão de 6,4 MPa, apresentaram valores da ordem de 86% para argamassa mista, enquanto para a industrializada foram obtidos valores de 64%. Para a argamassa industrializada o fator

de eficiência foi influenciado pelo teor de ar incorporado nas misturas durante a produção. De forma geral, Casali (2003) afirma que a argamassa mista obteve melhor desempenho que a industrializada utilizada nos testes, tanto no estado fresco, quanto no estado endurecido.

2.2.2.3 Argamassa Estabilizada

De acordo com Macioski et al. (2013), a argamassa estabilizada tem como característica a manutenção da trabalhabilidade por períodos de até 72 horas. Como forma de promover o aumento do tempo de pega, são utilizados aditivos estabilizadores de hidratação e incorporadores de ar, resultando em argamassas com melhor trabalhabilidade e redução no consumo de água.

Dosada em central, misturada, transportada por caminhões betoneira e armazenada em recipientes na obra, a argamassa estabilizada possui produção industrial, possibilita a racionalização de atividades e minimiza os riscos de erros da dosagem no canteiro de obras (LOZOVEY, 2018).

Além do mais, a argamassa estabilizada é um avanço na construção civil no que diz respeito à preservação do meio ambiente, pois reduz o desperdício devido à vantagem que ela apresenta em relação à possibilidade de armazenagem na obra por várias horas sem perder suas propriedades (KELLER; LOVATO, 2016).

De Matos et al. (2020) realizaram um estudo sobre a utilização de argamassa estabilizada em alvenaria estrutural de blocos de concreto. Seus resultados indicaram que, para argamassas com resistências compatíveis com a alvenaria estrutural para edifícios de médio porte (utilizando blocos com resistência de até 9 MPa), o desempenho foi satisfatório mesmo após 36 horas. Desse modo, os autores concluíram que sua utilização é tecnicamente viável. Da mesma forma, os estudos realizados por Lozovey (2018) resultaram em uma curva de dosagem de argamassa estabilizada para assentamento de alvenaria estrutural de blocos de concreto, que podem auxiliar na definição de traços para diferentes resistências à compressão de argamassa e diferentes resistências de prismas.

2.2.3 Propriedades do Estado Fresco

A seguir, serão abordadas as propriedades do estado fresco das argamassas de assentamento mais relevantes para o desenvolvimento deste trabalho:

trabalhabilidade, massa específica, retenção de água e adesão.

2.2.3.1 Trabalhabilidade

Trabalhabilidade é uma propriedade das argamassas no estado fresco que traz uma referência ao modo como elas se comportam na prática (CARASEK, 2010). Conforme Carasek (2010, p. 905) “a trabalhabilidade é a propriedade das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas e consolidadas, em uma condição homogênea”.

Trata-se de uma propriedade que apresenta uma certa complexidade, visto que é fruto da combinação de várias outras propriedades independentes e inter-relacionáveis como consistência, plasticidade, retenção de água e de consistência, coesão, exsudação, densidade de massa e adesão inicial (CARASEK, 2010; CASALI, 2003). De acordo com Schankoski (2012) estas propriedades são dependentes basicamente do tipo e teor de aglomerante utilizado, da granulometria e forma dos agregados, além da quantidade de água e aditivos empregados.

De forma geral, uma argamassa trabalhável permite que o profissional consiga executar seu serviço com qualidade e de forma adequada, em relação ao acabamento e produtividade (CARASEK, 2010). De acordo com Prudêncio et al. (2002), na prática, quem define se uma argamassa apresenta trabalhabilidade adequada é o assentador de alvenaria. Esta avaliação é baseada no tipo de ferramenta utilizada e em alguns critérios subjetivos citados apresentados a seguir.

Na prática são observadas características que auxiliam na avaliação da trabalhabilidade de uma argamassa de assentamento. Dentre elas estão a facilidade de manuseio e espalhamento na superfície da unidade de alvenaria, capacidade de manutenção da consistência por tempo suficiente para o assentamento de algumas unidades, facilidade de manter a espessura adequada da junta antes e depois da confecção das fiadas e adesão adequada para a execução das juntas verticais (DA MATA, 2006 apud SCHANKOSKI 2012; PANARESE, KOSMATKA e RANDALL JR., 1991 apud CASALI, 2003; PRUDÊNCIO et al., 2002).

É difícil mensurar ou quantificar a trabalhabilidade de uma argamassa de forma precisa, pois não foram definidos testes ou normas específicas para tal. No entanto, métodos empregados para medida da consistência avaliam indiretamente a trabalhabilidade das argamassas. Além disso, a avaliação da trabalhabilidade depende também das características do substrato e da habilidade do profissional que executa o

assentamento da alvenaria (BEALL, 1987 apud CASALI 2008; CARASEK, 2007 apud CASALI, 2008; CARASEK, 2010).

A seguir serão apresentadas as principais propriedades que influenciam na trabalhabilidade das argamassas e os fatores que as alteram.

- Consistência:

Conforme Carasek (2010, p. 905), a consistência de uma argamassa “é a maior ou menor facilidade da argamassa deformar-se sob ação de cargas”. De acordo com Prudêncio et al. (2002), a consistência define quão rígida ou mole encontra-se a argamassa. Em relação à reologia das argamassas, consistência refere-se à resistência da mistura ao escoamento, ou seja, está relacionada à sua fluidez (CARASEK, 2010).

O índice de consistência de uma argamassa normalmente é determinado por meio do método da mesa de consistência, prescrito pela ABNT NBR 13276 (2016), mais conhecido como *flow table*. A argamassa moldada no formato tronco-cônico é submetida a impactos sucessivos, provocando seu espalhamento na mesa. O valor do índice de consistência é tomado como sendo a média entre os diâmetros medidos da base do tronco de cone. De acordo com Prudêncio et al. (2002), o valor do índice de consistência para as argamassas de assentamento comumente utilizadas varia entre 230 e 280 mm. Entretanto, os autores afirmam ainda que o fato de uma argamassa apresentar índice de consistência nessa faixa não representa garantia de trabalhabilidade adequada.

A argamassa pode ser classificada quanto à sua consistência como seca, plástica ou fluida. Os fatores que influenciam essa propriedade são basicamente: a quantidade de aglomerantes, água e agregados, tempo e intensidade de mistura. (CARASEK, 2010; SABBATINI, 1986 apud CASALI , 2003; PRUDÊNCIO et al., 2002).

De acordo com Araújo (2005) e Haach et al. (2011), o aumento do teor de agregado provoca uma redução no índice de consistência. Além disso, Carasek et al. (2016), estudaram a influência da areia na consistência e densidade de massa. A partir de um traço fixo para a argamassa e utilizando diversos tipos de areia, os autores obtiveram resultados que indicaram que areias com melhor distribuição granulométrica e com melhor forma dos grãos resultam em argamassas mais fluidas, com menor consistência e maior densidade de massa. Giordani e Masuero (2019) também afirmam que a utilização de agregados com granulometria contínua favorece o índice de

consistência.

Além disso, o estudo realizado por Giordani e Masuero (2019) a respeito da influência do proporcionamento dos materiais nas propriedades da argamassa no estado fresco indicou que o aumento da relação água/aglomerante promove um aumento do índice de consistência.

- Plasticidade:

A plasticidade de uma argamassa é a propriedade no estado fresco que se relaciona com a capacidade que ela possui de conservar as deformações impostas mesmo após a retirada das tensões de deformação. Esta propriedade é influenciada de acordo com o tipo e quantidade de aglomerantes e agregados, tempo de mistura e presença de aditivos. Do ponto de vista reológico, a plasticidade estabelece relação com a viscosidade da argamassa (CARASEK, 2010).

Com isso, tem-se que, a plasticidade adequada de uma argamassa é ligada à forma de aplicação e ao uso final do produto. Para tal plasticidade, há um índice ótimo de água, que varia de acordo com os teores e natureza dos materiais empregados. Tem-se ainda que, de acordo com Schankoski (2012), a presença de cal favorece a plasticidade e a trabalhabilidade da argamassa. Além disso, as argamassas podem ser classificadas quanto à plasticidade como sendo: pobre (áspera, magra), média (plástica) ou rica (gorda) (CARASEK, 2010).

- Coesão:

Conforme Carasek (2010), coesão “refere-se às forças físicas de atração existentes entre as partículas sólidas da argamassa e as ligações químicas da pasta aglomerante”. A coesão pode ser descrita também como a capacidade de a argamassa manter-se homogênea, ou seja, sem que haja segregação de seus constituintes (PRUDÊNCIO,1994 apud SCHANKOSKI, 2012).

2.2.3.2 Massa específica e teor de ar incorporado

A massa específica, também denominada densidade de massa, é uma propriedade que varia de acordo com o teor de ar incorporado e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa (CARASEK, 2010). O valor referente à massa específica no estado fresco é determinado de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 13278 (2005), por meio da relação entre massa e volume

da argamassa. De acordo com Alves (2002) e Carasek (2010), o valor da massa específica fornece uma indicação sobre a facilidade de aplicação que a argamassa apresenta, visto que, argamassas mais leves requerem menores esforços de aplicação.

A determinação do teor de ar incorporado é feita de acordo com a ABNT NBR 13278 (2005), utilizando a relação entre a massa específica real e teórica da argamassa. A incorporação de ar é proporcionada principalmente pelos procedimentos mecânicos de mistura da argamassa, sendo potencializada por meio da utilização de aditivos (MANSUR et al., 2006). Além disso, o teor de ar incorporado depende de fatores intrínsecos da argamassa como tipo e teor de cimento, incorporador de ar, e teor de água de amassamento (ROMANO et al., 2018).

De acordo com Romano et al. (2018), o teor de ar incorporado promove melhora na coesão das argamassas, melhorando ainda a plasticidade, reduzindo a tendência à exsudação, além de possibilitar a redução da quantidade de água de amassamento. É válido ressaltar que, de acordo com Schankoski (2012), apesar de favorecer características de trabalhabilidade das argamassas, o teor de ar incorporado atua de forma desfavorável na resistência mecânica.

De acordo com os estudos realizados por Gava et al. (2015), o aumento do teor de aditivo incorporador de ar promoveu aumento no teor de ar incorporado, e por consequência, diminuição na massa específica das argamassas.

Alves (2002) e Romano et al. (2009), obtiveram resultados que indicaram que o teor de incorporação de ar apresenta crescimento com tendência linear e proporcional em relação ao tempo de mistura. Além disso, Antoniazzi et al. (2020) concluíram que, a partir de determinado limite, a incorporação de ar não sofre aumentos significativos tanto para o tempo de mistura, quanto para utilização de aditivos incorporadores de ar.

Antoniazzi et al. (2020) e Romano et al., (2018a) observaram que, em argamassas com baixo teor de aditivo incorporador de ar, a distribuição granulométrica uniforme favorece a incorporação de ar. Por outro lado, para maiores teores desse aditivo, a granulometria não resulta em impactos significativos no teor de ar incorporado.

2.2.3.3 Retenção de água

A retenção de água está relacionada com a capacidade de a argamassa fresca manter a sua trabalhabilidade quando submetida a solicitações que provocam perda

de água de amassamento, como a absorção do substrato e a evaporação. Essa propriedade, pode afetar algumas propriedades da argamassa endurecida, tal como a aderência, a resistência mecânica e a durabilidade, visto que, uma retenção de água inadequada pode resultar em falhas nas reações químicas de endurecimento dos aglomerantes (CARASEK, 2010).

O método para a determinação da retenção de água em argamassas está estabelecido pela ABNT NBR 13277 (2005). Ele consiste em medir a massa de água que a argamassa retém após sucção realizada pelo funil de Büchner modificado (bomba de vácuo). O resultado do ensaio é expresso em porcentagem, e de forma simplificada, por meio da relação entre a massa de água após a sucção e a massa inicial.

Destaca-se que, quando uma argamassa apresenta retenção de água muito baixa, ela perde água facilmente, ficando enrijecida e dificultando assim, o correto assentamento e alinhamento da prumada. Do mesmo modo, uma retenção de água elevada também pode ser prejudicial, devido ao fato de dificultar a manutenção da espessura da junta, além de, poder comprometer a aderência com as unidades de alvenaria (PRUDÊNCIO et al., 2002).

Um estudo realizado por Schankoski et al. (2015), afirma que a retenção de água das argamassas influencia diretamente na resistência à compressão dos prismas. Isso pode ser explicado devido ao fato que, ao perder muita água para o substrato, causa uma diminuição na resistência de aderência, a argamassa fica mais rígida e implica um maior módulo de elasticidade, ou seja, a argamassa fica com a capacidade de absorver as deformações comprometida. E ainda, a resistência da mesma pode ser reduzida, devido aos prejuízos na hidratação do cimento (CASALI, 2008).

Logo, para não comprometer o desempenho da parede, as argamassas devem apresentar valores de retenção de água dentro de limites toleráveis. Esses limites não são abordados pelas normas brasileiras que tratam dessa propriedade. Todavia, a ASTM C 270 indica que a retenção de água deve ser igual ou superior a 75%, mas não limita o valor máximo (SCHANKOSKI et al., 2015).

Gava et al. (2015), ao variar o teor de incorporador de ar em argamassas com concentrações de cal diferentes, a argamassa com maior concentração de cal apresentou maior retenção de água. Além disso, Souza et al. (2019), ao comparar argamassas mistas com aditivadas, concluíram que as mistas obtiveram a maior retenção de água. Constatando assim, a influência da cal nessa propriedade, devido à

sua elevada superfície específica e alta capacidade adsortiva.

Entre os fatores que podem aumentar a capacidade de retenção de água, também está a área específica dos materiais que constituem a argamassa. Segundo Pimentel et al. (2018), ao substituir o agregado natural pelo reciclado, as argamassas hidráulicas (de cimento) apresentaram aumento na capacidade de retenção de água de 3,5% e as argamassas mistas aumentaram 1,3%. O agregado reciclado possui maior teor de finos que o agregado natural, com isso, fica constatado a influência do aumento do teor de finos para a retenção de água.

Aliado a isso, a propriedade de retenção de água das argamassas dependerá também do substrato em que ela será aplicada, devido à porosidade; e das condições do clima, pois alta temperatura, baixa umidade e ventos fortes podem ser desfavoráveis e causar evaporação de água (CARASEK, 2010).

2.2.3.4 Adesão

A adesão é a capacidade da argamassa no estado fresco se unir a uma base. Essa propriedade está intimamente ligada às características reológicas da pasta aglomerante, principalmente a tensão superficial (CARASEK, 2010). À medida que a tensão superficial diminui, a adesão aumenta, pois há uma maior facilidade para molhar o substrato, além de aumentar a região de contato entre ambos (CASALI, 2008).

Dessa maneira, a modificação da tensão superficial da argamassa pode ser realizada pela alteração de alguns dos seus componentes. A adição de cimento, cal, aditivos incorporadores de ar e retentores de água contribuem para a diminuição da tensão superficial e, consequentemente, para a melhora ao molhar a superfície dos agregados e do substrato (CARASEK, 2010).

Não existem métodos no Brasil para determinar a adesão das argamassas (CARASEK, 2010). Contudo, a norma RILEM MR 5 é um dos poucos ensaios que avalia essa propriedade. Ele consiste no assentamento da unidade de alvenaria, logo após, verifica-se a forma de ruptura da junta. Quando a ruptura acontece na argamassa, a adesão pode ser considerada apropriada (CASALI, 2008).

Segundo Lozovey (2018), faz-se necessário uma boa adesão para que a argamassa se mantenha unida ao bloco, após o encabeçamento, permitindo assim, o posicionamento na parede.

2.2.4 Propriedades do Estado Endurecido

Serão abordadas, neste item, algumas das propriedades do estado endurecido das argamassas de assentamento, que se destacam: resistência à compressão, resistência à flexão, módulo de elasticidade e aderência.

2.2.4.1 Resistência à compressão

Nas argamassas, a resistência à compressão se desenvolve da mesma forma que no concreto, isto é, inicia-se com o enrijecimento e vai aumentando com a hidratação do cimento, e, quando presente, pela carbonatação da cal (SCHANKOSKI, 2012). Contudo, a resistência à compressão, vital para o concreto, é uma propriedade secundária para as argamassas (PRUDÊNCIO et al., 2002), melhor dizendo, a resistência à compressão não está entre as propriedades mais importantes de uma argamassa. Ainda assim, consiste em um parâmetro da qualidade e durabilidade das misturas, especialmente quando é empregada em situações estruturais. Além disso, como a compressão é a principal solicitação nas paredes de alvenaria, uma argamassa de assentamento necessita ter resistência suficiente para distribuir de forma adequada, as cargas atuantes, por toda área resistente da alvenaria (STEIL, 2003). É importante que a argamassa resista aos esforços solicitados pela parede e que, caso ocorram fissuras, que sejam de preferência na junta ou na interface com as unidades de alvenaria (LOZOVEY, 2018).

Na alvenaria estrutural a compatibilização entre as resistências da argamassa de assentamento e da unidade utilizada é de extrema importância, visto que, influencia tanto na resistência à compressão da alvenaria, quanto no tipo de ruptura que irá ocorrer (DRYSDALE, HAMID e BAKER, 1993 apud SCHANKOSKI, 2012). A ABNT NBR 16868-1 (2020), recomenda a limitação da resistência à compressão da argamassa à 1,5 vezes a resistência característica do bloco, de modo a reduzir o risco de fissuras. Enquanto a versão mais antiga da norma, a ABNT NBR 15961 (2011) sugere que a resistência da argamassa não deve exceder 70% da resistência do bloco em área líquida.

De acordo com Carasek (2010), é necessário que a argamassa de assentamento adquira rapidamente alguma resistência, de modo a suportar o assentamento de várias fiadas no mesmo dia, além de desenvolver resistência adequada ao longo do tempo. Para a autora, a resistência da argamassa não deve ser superior à resistência dos blocos, não sendo necessárias elevadas resistências de

argamassa para um bom desempenho das paredes.

Para determinar a resistência à compressão das argamassas, se faz necessário o rompimento de corpos de provas moldados em formas não absorventes. Existem diferentes geometrias de corpos de prova especificadas por normas brasileiras. A ABNT NBR 7215 (2019), recomenda corpos de prova cilíndricos com 5x10 cm. Enquanto a ABNT NBR 13279 (2005) especifica corpos de prova prismáticos de 4x4x16 cm para determinar tanto a resistência à compressão quanto à tração na flexão. Além disso, o ensaio de resistência à compressão para argamassas de assentamento descrito no Anexo A da ABNT NBR 16868-2 (2020), permite a moldagem de corpos de provas cúbicos de 40 mm de aresta.

Devido, principalmente, ao fato de a argamassa ser colocada sobre superfícies absorventes e estar exposta aos efeitos da evaporação, a resistência à compressão obtida nos ensaios não representa a resistência real. E ainda, o ensaio não condiz com o real estado de tensões que o material está sujeito quando está compondo uma junta de alvenaria (PRUDÊNCIO et al., 2002).

Ao estudar o efeito da granulometria dos agregados e da relação água cimento nas propriedades das argamassas Haach et al. (2011) afirmam que, o aumento da relação a/c provoca decréscimo na resistência à compressão. Além disso, resultados obtidos por Silva e Campiteli (2008) indicaram que, para argamassas mistas com a mesma relação cal/cimento, o aumento da relação areia/aglomerante provoca redução da resistência à compressão.

Gava et al. (2015), a partir da análise da influência dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de assentamento, verificaram que, apesar de provocar a redução da demanda de água de amassamento, seu uso provoca redução na resistência à compressão.

2.2.4.2 Resistência à tração na flexão

Segundo Schankoski et al. (2015), a resistência à tração na flexão e outras propriedades das argamassas, como resistência à compressão e retenção de água, influenciam diretamente e de forma crescente na resistência à compressão dos prismas.

Outro estudo experimental, realizado por Silva e Campiteli (2008), afirma que há uma correlação exponencial entre a relação água/cimento e a resistência à tração na flexão para argamassas de cimento, cal e areia, em que, quanto maior a concentração

de cimento, ou seja, menor a relação água/cimento, maior é a resistência à tração na flexão. Com isso, constata-se que o teor de cimento é determinante para os resultados das resistências mecânicas das argamassas.

A norma ABNT NBR 13279 (2005) estabelece os métodos para a determinação no estado endurecido da resistência à tração na flexão e da resistência à compressão de argamassas tanto de revestimento quanto de assentamento, por meio do rompimento de corpos de prova prismáticos (4 cm x 4 cm x 16 cm).

2.2.4.3 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade é a relação entre tensão e deformação existente em um corpo quando submetido a um carregamento uniaxial, sendo assim, consiste na declividade da curva tensão x deformação (SCHANKOSKI, 2012).

De acordo com Carasek (2010), a argamassa de assentamento deve ser capaz de deformar-se sem apresentar fissuras prejudiciais ao sistema. Além disso, devem garantir a geração de um sistema monolítico e a solidez da parede, isto é, as argamassas de assentamento devem transmitir as ações atuantes, acomodando as deformações sem causar fissuras (MOHAMAD et al., 2010 apud LOZOVEY, 2018). Estas características estão relacionadas com o módulo de elasticidade.

De acordo com a ABNT NBR 8522 (2017), o módulo de elasticidade estático é determinado através do diagrama tensão x deformação específica. A obtenção pode ser feita por meio da metodologia de tensão fixa ou da deformação específica fixa. No caso do método de tensão fixa, o módulo de elasticidade é calculado basicamente pelo diagrama obtido nos pontos correspondentes a 0,5 MPa e 30% da carga de ruptura.

Segundo Casali (2008), assim como ocorre com a resistência à compressão, o módulo de elasticidade de amostras moldadas em moldes impermeáveis apresenta diferenças em relação à junta de argamassa.

Outra referência normativa que aborda a determinação do módulo de elasticidade é a ABNT NBR 15630 (2008). Trata-se de um ensaio não destrutivo com o objetivo de determinar o módulo de elasticidade dinâmico para argamassas de assentamento e revestimento, por meio da propagação de ondas ultrassônicas.

De acordo com os estudos desenvolvidos por Haach et al. (2011) foram identificados dois fatores que provocam a redução no módulo de elasticidade das argamassas: aumento da relação água/cimento e utilização de areias grossas.

Silva e Campiteli (2008) estudaram a correlação entre o módulo de elasticidade

dinâmico e as resistências mecânicas de argamassas mistas produzidas com areia natural e areia de britagem. De acordo com os autores, para os dois tipos de areias estudadas, o aumento da relação areia/aglomerante para argamassas com o um teor fixo de cal/cimento provocou uma redução da resistência à compressão e do módulo de elasticidade.

2.2.4.4 Aderência

Aderência é a resistência e a extensão de contato entre a argamassa e uma base, assim, não se pode falar em aderência de uma argamassa sem descrever o material ao qual ela está sendo aplicada, pois, essa propriedade depende diretamente da interação entre esses materiais (CARASEK, 2010). Segundo Prudêncio et al. (2002), a aderência é a propriedade mais importante da argamassa endurecida, ela se estabelece no momento do contato da argamassa com o bloco, e a resistência de aderência é a capacidade que essa ligação possui de absorver tensões tangenciais e normais, sem o rompimento. Além disso, Carasek (2010) afirma que no caso das argamassas de assentamento, a aderência auxilia na estanqueidade das juntas, impedindo a penetração de água.

O mecanismo de ligação entre a argamassa e o substrato acontece essencialmente devido à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa na base. Quando a argamassa entra em contato com a superfície absorvente, perde água de amassamento, que juntamente com os componentes dos aglomerantes, penetram pelos poros do substrato. No interior dos poros, ocorre a hidratação do cimento e da cal. Com isso, esses fenômenos causam a ancoragem da argamassa à base, por meio do intertravamento, principalmente de etringita (CARASEK, 2010).

Segundo Carasek (2010), os principais fatores que influenciam na aderência são as propriedades das argamassas, que estão diretamente ligadas aos materiais empregados nas mesmas; as características do substrato, como a sucção de água e a porosidade; as técnicas de execução e as condições climáticas.

3 DESEMPENHO DA ALVENARIA ESTRUTURAL

De acordo com Mohamad et al. (2011) a alvenaria estrutural é um sistema constituído pela união de componentes com comportamentos distintos trabalhando em conjunto para responder ao carregamento aplicado. Por este motivo, a parede de alvenaria estrutural deve ser tratada como um material compósito, proveniente da interação entre a unidade e a argamassa de assentamento.

Serão abordados nessa revisão de literatura as características das paredes de alvenaria como: a resistência à compressão, a aderência bloco/junta e a influência da argamassa, para compreender melhor o desempenho da alvenaria estrutural.

3.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Para entender o comportamento desse sistema, formado por diferentes materiais que interagem entre si, são realizados testes com paredes ou prismas. Sendo que as principais propriedades mecânicas analisadas são as resistências à compressão, à tração, à flexão e ao cisalhamento. E como os carregamentos verticais, nas paredes de alvenaria, são mais intensos que os horizontais, a propriedade mais importante é a resistência à compressão (MOHAMAD et al., 2007).

De acordo com Prudêncio et al. (2002), a resistência à compressão é o fator mais importante a ser considerado na alvenaria estrutural não armada. Existem basicamente quatro métodos para definir a resistência à compressão da alvenaria, sendo eles: ensaios em paredes, ensaios em prismas, equações empíricas e equações analíticas. A determinação por ensaios de paredes e prismas apresenta vantagem por utilizar os mesmos materiais que serão utilizados na obra (CASALI, 2003).

De acordo com a ABNT NBR 16868-3 (2020), para determinação da resistência à compressão de elementos de alvenaria estrutural, podem ser utilizados os ensaios em prismas, pequenas paredes e paredes. Ainda segundo essa norma para a determinação da resistência à compressão de paredes, admite-se que os corpos de prova tenham dimensões representativas da estrutura real de no mínimo 1,20 m de largura e 2,60 m de altura. A resistência deve ser determinada com o resultado de ensaio de pelo menos três corpos de prova e para cada parede devem ser ensaiados dois corpos de prova de prisma.

De acordo com a ABNT NBR 16868-1 (2020), pequenas paredes são definidas

como um corpo de prova com largura mínima de dois blocos, e altura mínima equivalente a cinco vezes a espessura da unidade de alvenaria e não inferior a 70 cm. Os procedimentos de determinação da resistência à compressão de pequenas paredes estão descritos na ABNT NBR 16868-3 (2020). Segundo essa referência normativa, os corpos de prova devem ser moldados de forma que a influência das variações características de mão de obra e materiais seja mínima. Após 28 dias, os corpos de prova são submetidos ao carregamento uniformemente distribuído, e são observados além da resistência à compressão, alguns pontos como carga em que ocorre a primeira fissura, encurtamento médio da parede e seu modo de ruptura.

Ensaios em paredes representam mais fielmente as características da alvenaria, isto é, os resultados são mais seguros. Porém, não são muito utilizados, devido à necessidade de equipamentos de grande porte e por serem mais custosos quando comparados aos ensaios com prismas. Esses são mais utilizados devido à facilidade de execução, custo inferior e também consideram os efeitos do prumo, da qualidade da mão de obra, além da presença da junta de argamassa (CASALI, 2003). Como escopo deste trabalho, serão utilizados os métodos de ensaio em prismas para determinação da resistência à compressão.

A ABNT NBR 16868-1 (2020) define prismas como corpos de prova obtidos por meio da superposição de blocos unidos por junta de argamassa. De acordo com Casali (2003), os prismas utilizados em ensaios geralmente apresentam uma unidade de comprimento, uma de largura e altura entre 1,5 a 5 vezes a largura. A referência normativa fixa a altura mínima em duas unidades de alvenaria. Os procedimentos de determinação de resistência à compressão de prismas estão descritos na ABNT NBR 16868-3 (2020), e se assemelham com os descritos anteriormente para as pequenas paredes.

Em referências normativas anteriores como a ABNT NBR 15961:1-2 (2011) a recomendação para determinação da resistência característica da alvenaria estrutural em blocos de concreto era determinada pelo ensaio de paredes ou estimada como sendo 70% da resistência à compressão do prisma (*fpk)* ou 85% da resistência à compressão da pequena parede (*fppk)*. Já a referência normativa atualmente em vigor, ABNT NBR 16868-1 (2020), define que, a determinação com base no ensaio de prismas e pequenas paredes pode ser feita somente para alvenaria utilizando blocos com altura de 190 mm assentados com junta de 10 mm, seguindo os mesmos percentuais anteriores. Para os demais casos, deve ser utilizada a resistência

característica obtida no ensaio de paredes. A ABNT NBR 16868-3 (2020) em seu anexo A, estabelece as equações apresentadas a seguir para cálculo da resistência característica do elemento de alvenaria em função dos resultados obtidos nos ensaios de paredes, pequenas paredes e prismas.

Para amostragem com número de exemplares entre 3 e 5, a resistência característica é calculada por:

$$f_{ek,est} = \emptyset\, f_{e\,(1)} \qquad \text{Equação 1}$$

Para número de exemplares entre 6 e 20, a resistência característica do elemento de alvenaria é dada por:

$$f_{ek,est,1} = 2\left[\frac{f_{e\,(1)} + f_{e\,(2)} + \cdots f_{e(i-1)}}{i-1}\right] - f_{e\,(i)} \qquad \text{Equação 2}$$

$$f_{ek,est,2} = \emptyset\, f_{e\,(1)} \qquad \text{Equação 3}$$

$$f_{ek,est} = maior\ valor\ entre\ f_{ek,est,1}\ e\ f_{ek,est,2} \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:

$i = n/2$ se n for par, com n igual ao número de exemplares da amostra;

$i = (n-1)/2$ se n for ímpar, com n igual ao número de exemplares da amostra;

$f_{ek,est}$ é a resistência característica estimada da amostra, em MPa;

$f_{e\,(1)}, f_{e\,(2)} \ldots f_{e\,(n-1)}, f_{e\,(n)}$ são os valores da resistência individual dos corpos de prova da amostra, ordenados em ordem crescente;

$\emptyset$ é o fator da incerteza em função da quantidade de resultados, conforme Tabela A.1 da ABNT NBR 16868-3 (2020).

Por fim, para número de exemplares acima de 20, a resistência característica do elemento de alvenaria é dada por:

$$f_{ek,est} = \emptyset\, f_{em} - 1{,}65\, S_n \qquad \text{Equação 5}$$

Onde:

S_n é o desvio padrão da amostra;

f_{em} é a media de todos os resultados da amostra.

A compressão nas alvenarias produz tensões biaxiais (compressão e tração) nas unidades e tensões triaxiais de compressão nas argamassas. O impedimento das deformações, faz com que as tensões surjam, e isso explica o mecanismo de ruptura das alvenarias. Quanto maior a diferença entre o módulo de elasticidade da argamassa e do bloco, maiores são as tensões laterais de tração e de compressão nos materiais (MOHAMAD et al., 2007).

A resistência à compressão e o modo de ruptura da alvenaria variam de acordo com os diferentes tipos de unidades de alvenaria e argamassas empregadas. O comportamento da alvenaria em relação aos seus componentes é definido pelo fator de eficiência (MOHAMAD et al., 2011). Segundo Mohamad et al. (2007), esse fator é definido pela relação entre a resistência à compressão do prisma de alvenaria com a resistência à compressão da unidade. Ele geralmente é menor que um e a medida que a resistência da unidade aumenta, o fator diminui. Além disso, auxilia nas investigações de resistência das alvenarias e modos de ruptura, de forma a compreender os fenômenos que causam o rompimento dos materiais.

É importante que seja feita a compatibilização dos materiais empregados na alvenaria estrutural, não só para obter composições com melhor fator de eficiência, como também para obter uma estrutura com melhor qualidade e desempenho (MOHAMAD, 1998 apud SILVA 2007; MOHAMAD et al., 2011).

Para que se possa propor modelos com melhor desempenho estrutural, é necessário o estudo dos modos de ruptura da alvenaria. Essa ruptura ocorre basicamente por tração no bloco ou esmagamento das juntas de argamassa (MOHAMAD et al., 2011). Além disso, a ruptura da alvenaria pode ocorrer também por esmagamento do bloco ou por ruptura do conjunto, o que é o cenário mais desejável (PASSOS et al., 2009 apud SCHANKOSKI, 2012).

3.1.1 Influência dos componentes na resistência à compressão da alvenaria

A resistência à compressão do bloco é o fator mais importante da resistência da alvenaria. Contudo, outras características das unidades de alvenaria também influem na resistência à compressão da parede. São elas: geometria da unidade, resistência à tração e absorção (CASALI, 2003; SILVA, 2007).

É válido ressaltar que, apesar disso, o aumento da resistência da unidade de alvenaria não apresenta relação linear com o fator de eficiência, principalmente para unidades de resistência elevada (CASALI, 2003).

Silva (2007) desenvolveu um estudo para avaliar a resistência à compressão da alvenaria estrutural, utilizando dois traços de argamassa mista e dois de argamassa industrializada, com ensaios em prismas de 2 e 3 blocos, painéis e paredes moldados com blocos de diferentes resistências. Seus resultados indicaram que, para a mesma argamassa, o fator de eficiência da alvenaria é menor quando utilizados blocos com maior resistência. Além disso, a autora observou que, para os ensaios com prismas moldados com blocos da mesma classe de resistência, os valores de resistência à compressão do corpo de prova apresentaram tendência de crescimento com o aumento da resistência da argamassa.

Em relação à geometria, quanto maior a altura da unidade, maior a resistência da alvenaria, pois a área da unidade que resiste às tensões de tração torna-se maior e a tensão transversal gerada na interface bloco-junta é reduzida (PRUDÊNCIO et al., 2002).

A resistência à compressão e o modo de ruptura das unidades cerâmicas são diferentes dos blocos de concreto. Comparando-se aos blocos de concreto, os blocos cerâmicos possuem o fator de eficiência menor, maior fragilidade em relação ao modo de ruptura, mas a faixa de resistência à compressão é maior (MOHAMAD et al., 2007). Uma pesquisa realizada por Silvestro et al. (2020), constatou que mesmo os blocos cerâmicos apresentando resistência superior aos blocos de concreto, as resistências dos prismas de concreto foram superiores. Os autores observaram ainda que, a resistências dos prismas e dos blocos de concreto ficaram bem próximas; diferente dos blocos cerâmicos, em que os valores dos prismas foram significativamente inferiores aos valores dos blocos.

Para Ramalho e Corrêa (2003), a influência da argamassa na resistência à compressão das paredes está relacionada, principalmente, a dois fatores: a espessura da junta horizontal e a resistência à compressão da argamassa.

Ao utilizar unidades (blocos) de maiores resistências, deve-se utilizar argamassas com resistências maiores também. Porém, o aumento da resistência da argamassa resulta em um aumento menos significativo na resistência da alvenaria do que o aumento da resistência dos blocos (RIZZATTI, 2011).

Um estudo realizado por Di Nero et al. (2020), com blocos de concreto,

constatou que os prismas moldados com argamassas mais resistentes apresentaram resistência à compressão inferior aos prismas com argamassas menos resistentes. Visto que, argamassas mais resistentes são mais frágeis e não se deformam com facilidade, isto é, a acomodação das tensões é dificultada e a ruptura acontece com menor absorção de tensões.

Em relação à espessura da junta de argamassa, a ABNT NBR 16868-2 (2020) recomenda juntas horizontais de 10 ± 3 mm de espessura. Ao analisar prismas com blocos cerâmicos e de concreto, Silvestro et al. (2020) concluíram que as maiores resistências características ocorreram nos prismas com a espessura recomendada pela norma.

Segundo Mohamad et al. (2007), é importante não limitar a resistência das alvenarias às resistências somente dos blocos, mas sim, compreender o comportamento da parede como um todo. Tanto os materiais (unidades e argamassas) utilizados, como a mão de obra, que pode gerar problemas na execução, como o desaprumo.

3.2 ADERÊNCIA ENTRE BLOCO E JUNTA

Conforme visto anteriormente, a aderência descreve a resistência e a extensão do contato entre a argamassa e o substrato, ou seja, é uma propriedade dependente da interação entre dois materiais (CARASEK, 2010). De acordo com Sabatini (1996) citado por Casali (2008), pode-se definir a resistência de aderência como a capacidade da interface bloco/argamassa absorver tensões normais (tração) e tangenciais (cisalhamento) sem que haja o rompimento.

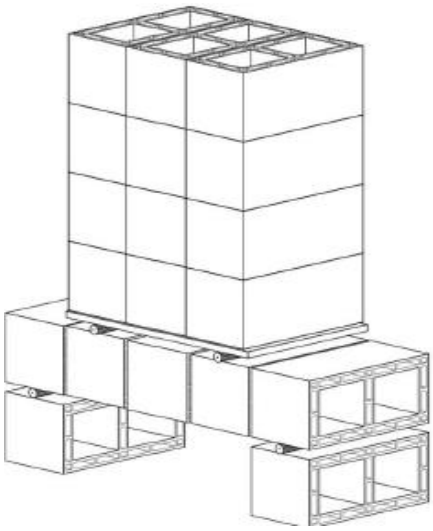
A resistência à tração da alvenaria depende da aderência entre a argamassa de assentamento e os blocos. Baixa resistência de aderência pode ocasionar aparecimento de fissuras, que podem comprometer o desempenho da alvenaria estrutural, devido à concentração de tensões. Além disso, o aparecimento de fissuras abre a possibilidade de degradação do sistema que fica exposto à infiltração de água (CASALI, 2008).

De acordo com Carasek (2010), a aderência deriva de três propriedades da interface argamassa-substrato: resistência de aderência à tração, resistência de aderência ao cisalhamento e a extensão de aderência (razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida).

A aderência é uma propriedade fundamental para as argamassas de assentamento, pois ela promove a ligação entre as unidades de alvenaria, fazendo com que os componentes trabalhem como conjunto monolítico (CASALI, 2008). De acordo com Carasek (2010), apesar da importância da propriedade, no Brasil não existem normas que definem ensaios para avaliar a aderência entre a argamassa e a unidade de alvenaria. O que é geralmente utilizado são testes que mensuram o esforço para separar as unidades de alvenaria ligadas por argamassa.

Uma forma de avaliar a aderência da alvenaria é utilizando prismas, por meio do ensaio de tração na flexão descrito na ABNT NBR 16868-3 (2020). A norma recomenda que sejam moldados prismas de 5 fiadas, que após a cura são dispostos na horizontal apoiados em blocos posicionados em uma superfície plana. A estrutura trabalha então como uma viga submetida à flexão. É aplicado um carregamento, que pode ser feito pelo empilhamento de blocos em cima do prisma, conforme Figura 1. Os blocos são posicionados sobre uma prancha a uma velocidade de 4 blocos por minuto, cuidando para que não ocorram choques ao posicioná-los. O carregamento aplicado gera um esforço de flexão.

Figura 1 - Ensaio de tração na flexão com prismas de cinco fiadas.



Fonte: ABNT NBR 16868-3 (2020).

Para calcular a resistência à tração do prisma, a referência normativa fornece as seguintes equações:

$$M = \frac{\left(\frac{G}{H}\right)L^2}{8} + \frac{Pb}{2}$$ Equação 6

$$f_t = \frac{6M}{cl^2}$$ Equação 7

Onde:

P é o peso total da sobrecarga (roletes + madeira + blocos) ou carga de ruptura indicada na máquina de ensaio, expresso em newton (N);

G é o peso total do prisma, expresso em newton (N);

H é a altura do prisma, expressa em milímetro (mm);

L é o comprimento livre entre apoios, expresso em milímetros (mm);

B é a distância entre o apoio e o ponto de aplicação de carga, expresso em milímetro (mm);

c é o comprimento do bloco, expresso em milímetro (mm);

ft é a resistência de tração na flexão, expresso em megapascal (MPa);

M é o momento máximo, expresso em newton x milímetro (N.mm).

A resistência característica à tração na flexão dos prismas é calculada de acordo com o anexo A da ABNT NBR 16868-3 (2020), seguindo as equações de 1 a 5 descritas anteriormente.

A ABNT NBR 16868-1 (2020) permite que se considere valores característicos de resistência à tração na flexão. Esses valores estão descritos na Tabela 1 e são válidos apenas para assentamento de alvenaria com a junta vertical preenchida.

Tabela 1 - Valores característicos de resistência à tração

Resistência média a compressão da argamassa	**f_{tk}** (MPa)	
	Direção da tração perpendicular à fiada	Direção de tração paralela à fiada
Entre 1,5 e 3,4 MPa	0,10	0,20
Entre 3,5 e 7,0 MPa	0,20	0,40
Acima de 7,0 MPa	0,25	0,50

Fonte: ABNT NBR 16868-1 (2020).

De acordo com Schankoski (2012), o ensaio apresenta certa dificuldade na execução, devido ao peso do prisma que precisa ser transportado para a realização do ensaio. Além disso, nas juntas centrais do prisma surge um esforço de cisalhamento,

que pode prejudicar a avaliação isolada da tração na flexão.

Com o objetivo de avaliar a aderência da alvenaria, Casali (2008) realizou ensaios de tração na flexão blocos de concreto e quatro tipos de argamassas distintas, sendo elas: argamassa mista, argamassa mista com aditivo incorporador de ar, argamassa à base de cimento com aditivo incorporador de ar e argamassa à base de cimento com incorporador de ar e retentor de água. Os resultados indicaram tendências diferentes para as argamassas ensaiadas, de acordo com a absorção dos blocos. Para a argamassa mista e a argamassa de cimento com incorporador de ar, a resistência de aderência na flexão cresceu com o aumento da absorção do bloco. Já para as outras duas, ocorreu o inverso, ou seja, a resistência de aderência foi reduzida à medida que a absorção do bloco aumentou. Além disso, de acordo com a autora, a resistência de aderência na flexão foi influenciada não só pelo tipo de argamassa, como também pela temperatura de moldagem do prisma e processo de cura.

Vieira (2019), ao avaliar o desempenho de argamassas industrializadas para assentamento de alvenaria estrutural em blocos de concreto, obteve resultados considerados satisfatórios de resistência à tração na flexão para argamassas industrializadas com resistências entre 7,0 e 14,0 MPa.

3.3 INFLUÊNCIA DA ARGAMASSA NO DESEMPENHO

A argamassa de assentamento garante o monolitismo e a solidez necessária à parede de alvenaria estrutural, isto é, ela promove a união com as unidades, criando uma estrutura única (MOHAMAD et al., 2017). Além do mais, a resistência da argamassa deve ser suficiente para suportar os esforços em que a parede está submetida, sem exceder a resistência da unidade (MOHAMAD, 1998 apud CASALI, 2003). Diante disso, se faz necessário entender a influência da mesma no desempenho da alvenaria.

Segundo Casali (2003), a resistência da argamassa não é tão significativa para a resistência da alvenaria como a resistência do bloco, visto que, variações consideráveis na resistência da argamassa não variam notadamente a resistência de prismas. Em um estudo realizado por Schankoski et al. (2015), ao avaliar o desempenho de argamassas industrializadas ofertadas no mercado, perceberam que a argamassa estrutural de 10 MPa com 20% de argamassa colante, quando comparada à sem adição de argamassa colante, apresentou uma diminuição na

resistência à compressão, porém, um aumento na resistência do prisma.

Ainda sobre o estudo realizado por Schankoski et al. (2015) ao comparar as argamassas industrializadas com as argamassas mistas usualmente empregadas em alvenarias estruturais de bloco de concreto para edifícios altos, perceberam que o maior fator de eficiência dos prismas ocorreu com o emprego da argamassa mista com traço rico 1:0,57:4 (cimento: cal: areia) em massa. Essa argamassa apresentou o maior módulo de elasticidade e gerou prismas mais rígidos.

Quando a alvenaria está submetida à compressão, a junta de assentamento sofre dois fenômenos principais: confinamento e esmagamento. O primeiro ocorre devido a aderência entre a argamassa e o bloco e devido ao fato da argamassa ser mais deformável que o bloco, uma vez que o bloco impede deformações laterais da junta. Enquanto o fenômeno do esmagamento da junta de argamassa acontece quando a tensão de compressão atinge o limite de resistência à compressão da argamassa confinada, isto é, ocorre o encolhimento da junta, destruição do esqueleto resistente e quebra de aderência entre a argamassa e o bloco (MACHADO, 2019).

A proporção da rigidez entre a argamassa e a unidade é um fator determinante para a resistência dos prismas de blocos vazados sem grauteamento e para o tipo de ruptura que ocorrerá. Isso ocorre devido ao surgimento de tensões confinantes, capacidade de deformação na argamassa e tração nas unidades (MOHAMAD, 1998 apud CASALI, 2003). Quanto mais deformável for a argamassa, isto é, quanto menor seu módulo de elasticidade, maior serão as tensões geradas no bloco, e com isso, menor a resistência à compressão do prisma (LA ROVERE, 1997 apud CASALI, 2003).

Mota et al. (2012) estudaram a influência da argamassa de assentamento na resistência à compressão axial de prismas de blocos cerâmicos utilizando argamassa mista. Os autores verificaram que o aumento da espessura da junta de argamassa provocou redução na resistência do prisma. Para eles, a junta com espessura de 10 mm deve ser praticada, pois apresentou maior resistência média e maior fator de eficiência entre os prismas moldados com juntas de 10, 15 e 20 mm.

Oliveira (2015), ao analisar a influência da argamassa de assentamento na resistência da alvenaria estrutural em bloco cerâmico utilizando argamassas mistas com diferentes resistências com juntas variando entre 10 e 25 mm, verificou que a utilização de juntas com espessura superior a 10 mm condiciona a perda de resistência à compressão e acarreta em aumento no consumo de material.

Cavalcanti et al. (2018), ao ensaiarem prismas com 3 blocos de concreto

variando as espessuras das juntas entre 8 e 20 mm, verificaram que os com espessura de 10 mm apresentaram a maior eficiência e os melhores resultados para resistência; enquanto os prismas com a menor (8 mm) e as maiores espessuras (12,5, 15 e 20 mm) apresentaram resistência menores. Isso confirma o que diversos autores verificaram ao estudar o comportamento dos prismas em relação às espessuras das juntas: o aumento na espessura da junta causa diminuição na resistência da alvenaria, enquanto, a diminuição excessiva da junta pode gerar perda da capacidade de absorção de deformações e aumento de tensões no encontro das faces dos blocos (CAVALCANTI et al., 2018).

O padrão de assentamento também é um fator que pode alterar o desempenho da alvenaria. Um estudo realizado por Lima et al. (2019) analisou a influência do padrão de assentamento em prismas de blocos de concreto. Os autores concluíram que os prismas com argamassamento total são mais resistentes e eficientes que os prismas com argamassamento parcial. A ausência de argamassa nas paredes transversais provoca concentrações de tensões nas paredes laterais dos blocos, gerando redução na resistência do prisma ou parede (ROMAGNA, 2000 apud CASALI 2003).

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi elaborado com o objetivo de comparar e avaliar o desempenho de argamassas para assentamento de paredes de alvenaria estrutural de blocos de concreto. Para tanto, foram testadas três argamassas: mista, industrializada e a estabilizada. Foi realizado um estudo preliminar para definir um proporcionamento em massao para a argamassa mista, de forma que as resistências à compressão das argamassas fossem compatíveis com a resistência do bloco de concreto, de acordo com os critérios estabelecidos pela referência normativa.

A metodologia apresentada a seguir será dividida em três partes. A primeira se concentrará em apresentar os materiais empregados e suas caracterizações; serão posteriormente explicitados os ensaios realizados no desenvolvimento do estudo e as normas correspondentes; e por fim, a sequência da realização dos ensaios e as observações pertinentes.

4.1 MATERIAIS

A seguir, serão abordados os materiais empregados neste trabalho e suas principais características. O tópico está dividido em: blocos, argamassa mista, argamassa industrializada e argamassa estabilizada.

4.1.1 Blocos

Como o objetivo neste trabalho foi estudar a influência da argamassa de assentamento nas propriedades da alvenaria estrutural, foi necessário definir uma classe de resistência para os blocos e, consequentemente, para as argamassas que seriam utilizadas no seu assentamento. Optou-se por utilizar blocos de resistência à compressão mediana, frequentemente utilizados nos primeiros pavimentos de edifícios acima de 8 pavimentos, com resistência no limite inferior da classe A, da ABNT NBR 6136 (2016). Portanto, foram adquiridos 110 blocos com resistência nominal de 8 MPa, produzidas por uma empresa de pré-moldados localizada na região da Grande Vitória. O laudo de rompimento disponibilizado pelo fabricante dos blocos é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Laudo do ensaio de resistência à compressão fornecido pelo fabricante.

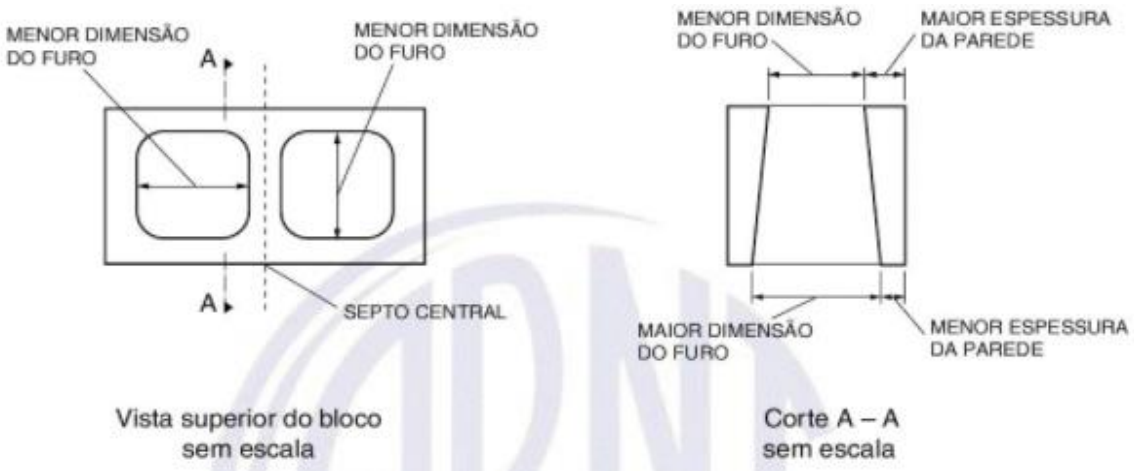
Data de fabricação e lote	Peça	Peso (kg)	Área (cm^3)	Carga (kgf)	f_b (MPa)	f_{bk} (MPa)
15/06/2021 173.1.06.15062021	1	12,320	546	45600	8,4	8,3
	2	12,280	547	51300	9,4	
	3	12,200	546	46250	8,5	
	4	12,410	546	46700	8,6	
	5	12,350	546	47350	8,7	
	6	12,400	546	51300	9,4	
Médias		**12,327**	**546**	**48083**	**8,8**	

Fonte: Fabricante.

Porém, após os ensaios de resistência à compressão, que serão apresentados no tópico de Resultados, observou-se que as unidades adquiridas não possuíam 8 MPa e sim 18 MPa, em média.

As unidades empregadas no trabalho foram blocos estruturais de concreto vazados com dimensões de 14 x 19 x 39 cm (largura x altura x comprimento). Sendo que, será denominada face fina ou inferior, a face do bloco com parede de menor espessura; e de face grossa ou superior, a face com parede de maior espessura. Essa definição deve-se ao assentamento de uma parede de alvenaria, na qual o bloco é posicionado com a face fina para baixo. A diferença entre faces pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 - Espessura das paredes do bloco estrutural.



Fonte: ABNT NBR 12118 (2013).

Os blocos adquiridos foram pesados e separados em grupos: leves, intermediários e pesados. Entre os blocos de peso intermediário, 3 unidades foram selecionadas para o ensaio de absorção e 6 para as características dimensionais e resistência a compressão.

4.1.2 Argamassa Mista

A seguir serão apresentados os materiais utilizados na produção da argamassa mista.

4.1.2.1 Agregado Miúdo

As principais características da areia utilizada encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Características do agregado miúdo utilizado.

Propriedade	Valor
Massa específica aparente (g/cm³)	2,67
Dimensão máxima característica (mm)	2,38
Módulo de finura	1,66

Fonte: Autoras

4.1.2.2 Cimento

O cimento utilizado no trabalho foi o CP V - ARI Plus, fabricado pela LafargeHolcim em Pedro Leopoldo, Minas Gerais. A massa específica do cimento, de acordo com Arpini Filho (2021), é de 3,10 g/cm³. As demais características apresentadas pelo fabricante estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Propriedades do cimento.

Características	Lote único
Blaine (cm²/g)	4826
Início de pega (minutos)	125
Fim de pega (minutos)	173

Continua.

Continuação Tabela 4.

Resistência à compressão 1 dia (MPa)	26,7
Resistência à compressão 3 dias (MPa)	38,6
Resistência à compressão 7 dias (MPa)	42,5
Resistência à compressão 28 dias (MPa)	50,4
Perda ao fogo (%)	5,86
Resíduo insolúvel (%)	0,81
MgO (%)	0,78
SO3 (%)	2,74

Fonte: LafargeHolcim Cimentos.

4.1.2.3 Cal

A cal hidratada utilizada para a dosagem da argamassa mista foi a CH-III, encontrada no comércio de Vitória e trata-se de uma cal produzida no Sul do estado do Espírito Santo. A massa específica da cal hidratada, determinada pela ABNT NBR NM 23 (2000), é 2,51 g/cm³.

4.1.3 Argamassa Industrializada

A argamassa industrializada utilizada foi do tipo “uso geral”. De acordo com a recomendação do fabricante, o produto pode ser utilizado para assentamento de alvenaria e reboco. Na Tabela 5 são mostrados os dados fornecidos na ficha técnica e na embalagem do produto. A massa específica da argamassa anidra, determinada segundo a ABNT NBR NM 23 (2000), é 2,66 g/cm³.

Tabela 5 - Características do produto e recomendações do fabricante.

Nome Comercial	**Recomendação de uso**	**Classificação NBR 13281:2005**	**Resistência nominal (MPa)**	**Teor de água [1]**
Multimassa Uso Geral	Assentamento de alvenaria e reboco	P5 M4 R5 D4 U4 A3	5,5 - 9,0	14,5

[1] Relação água/material seco recomendada pelo fabricante
Fonte: Saint-Gobain Brasil.

4.1.4 Argamassa Estabilizada

4.1.4.1 Agregado miúdo e Cimento

O agregado miúdo e o cimento utilizados na produção da argamassa estabilizada foram os mesmos já abordados anteriormente para a argamassa mista.

4.1.4.2 Aditivos

Para produção da argamassa estabilizada foram utilizados dois aditivos: estabilizador de hidratação e o incorporador de ar (Figura 3), ambos fabricados pela GCP applied Technologies.

Figura 3 - Aditivos utilizados na produção da argamassa estabilizada.

Fonte: Autoras.

Na Tabela 6 é possível observar as propriedades dos aditivos utilizados.

Tabela 6 - Propriedade dos aditivos empregados.

Propriedade	**Especificação**	
	Incorporador de Ar	**Estabilizador de Hidratação**
pH (23°C)	10 – 12	8 – 11
Densidade 23°C (g/cm³)	1.00 – 1.04	1.16 – 1.20
Teor de sólidos (%)	4.0 – 6.0	38.0 – 42.0

FONTE: Fabricante

4.2 ENSAIOS

4.2.1 Blocos de Concreto

A caracterização dos blocos neste trabalho seguiu a sequência de atividades listada a seguir:

- Pesagem das unidades;
- Verificação das dimensões e inspeção visual, conforme ABNT NBR 12118 (2013).
- Resistência à compressão: os blocos foram capeados e rompidos, conforme ABNT NBR 12118 (2013).
- Absorção: método descrito pela ABNT NBR 12118 (2013).

4.2.2 Argamassa de Assentamento

Todas as argamassas foram caracterizadas no estado fresco e no estado endurecido. Para a análise do estado fresco, foram realizados os ensaios descritos abaixo e apresentados na Figura 4:

- *Flow Table*: determinação do índice de consistência por meio do abatimento na mesa de queda livre com 30 golpes de acordo com a ABNT NBR 13276 (2016).
- Massa específica e teor de ar incorporado: método prescrito pela ABNT NBR 13278 (2005).
- Retenção de água: método prescrito pela ABNT NBR 13277 (2005), por meio do funil de Büchner modificado.

Figura 4 - Mesa para índice de consistência (a), funil de Büchner modificado (b) e recipiente cilíndrico rígido para determinar massa específica.

(a) (b) (c)

Fonte: Autoras.

No estado endurecido, foram realizados os seguintes ensaios:

- Resistência à tração na flexão e à compressão: método prescrito pela ABTN NBR 13279 (2005), que prescreve moldagem de 3 corpos de prova prismáticos (4x4x16 cm).
- Resistência à compressão: método prescrito pela ABNT NBR 7215 (2019), que prescreve moldagem de corpos de prova cilíndricos (5x10 cm).

A Figura 5 apresenta imagens do rompimentos dos corpos de prova.

Figura 5 - Corpo de prova prismático (a) e corpo de prova cilíndrico (b).

(a) (b)

Fonte: Autoras.

4.2.3 Prisma

Para avaliação do comportamento da alvenaria, foram moldados prismas de duas fiadas para determinação da resistência à compressão, conforme prescrições da ABNT NBR 16868-3 (2020). A Figura 6 apresenta um prisma preparado para o rompimento.

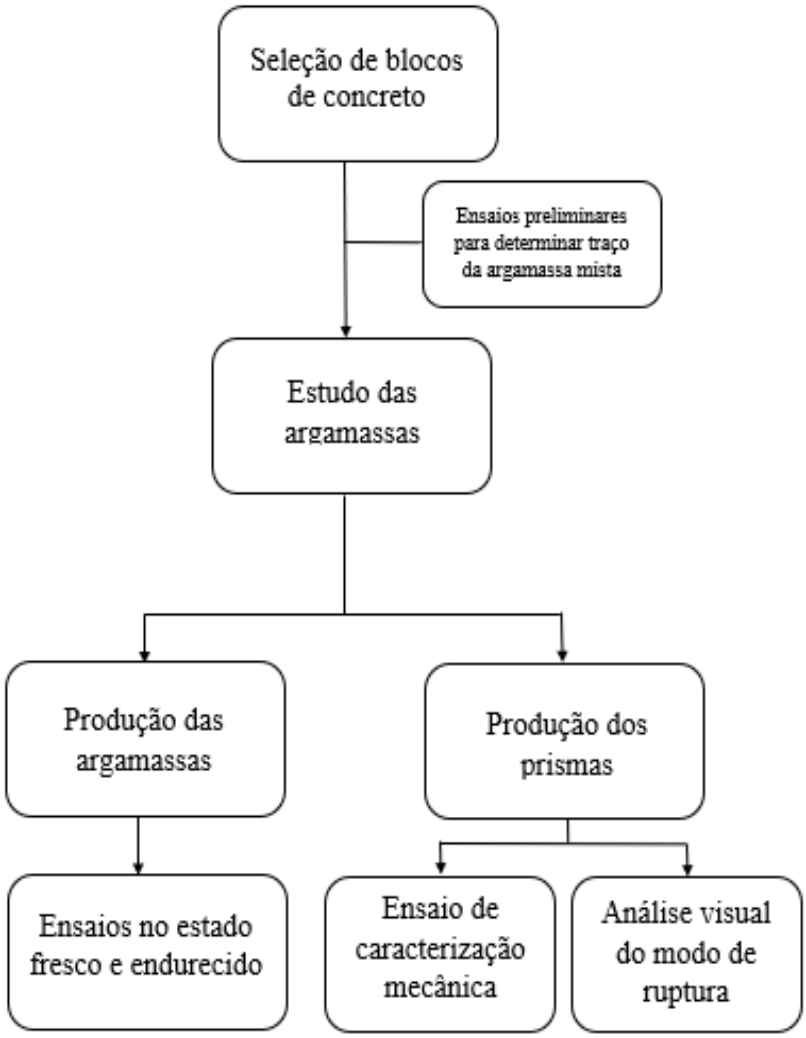
Figura 6 - Ensaio de resistência à compressão de prisma.

Fonte: Autoras.

4.3 METODOLOGIA

A sequência adotada pelo programa experimental está indicada na Figura 7 e nos próximos itens desse trabalho serão abordados com maior profundidade.

Figura 7 - Metodologia desenvolvida no projeto.



Fonte: Autoras.

Para o desenvolvimento da metodologia, foi necessário considerar as condições adversas vivenciadas, no que se refere a pandemia do Coronavírus (COVID-19). No decorrer do trabalho, inicialmente o laboratório estava fechado, e num segundo momento o espaço foi reaberto, com limitação de utilização, de modo a seguir os protocolos sanitários.

A princípio, a análise seria feita tanto com blocos de concreto quanto com cerâmicos, porém, para adequar-se aos dias disponíveis para uso do laboratório, optou-se somente pelo bloco de concreto, visto que o mesmo é o mais utilizado nas obras em alvenaria estrutural na região. Também foi necessário adequadar o número de ensaios, optando por não realizar ensaios de resistência à tração na flexão de prismas.

4.3.1 Blocos

Para a realização deste estudo foi recebido um lote de 110 blocos de concreto. Solicitado junto a um fabricante de pré-moldados da região da Grande Vitória, blocos de concreto com resistência característica de 8 MPa e espessura nominal das paredes de 25 mm. Sendo requisitado o laudo, que consta na Tabela 2 referente ao lote de blocos adquiridos.

As questões relacionadas à pandemia de COVID-19 mencionada anteriormente, impediram que a realização do ensaio de resistência à compressão para caracterização dos blocos de concreto fosse realizada numa etapa preliminar à moldagem dos prismas, sendo realizada no mesmo dia que o ensaio de resistência à compressão dos prismas.

Os blocos adquiridos passaram por um processo de pesagem (Figura 8), de modo a subdividir os blocos em três categorias: leves, médios e pesados. Após a identificação, alguns blocos intermediários foram selecionados para caracterização, passando por capeamento com pasta de cimento (na face superior e inferior) e, posteriormente, rompimento à compressão. Além disso, foram realizados ensaios de absorção, verificação geométrica e inspeção visual.

Figura 8 - Pesagem (a) e identificação dos blocos (b).

(a) (b)

Fonte: Autoras.

Para a moldagem dos prismas, os blocos previamente selecionados de acordo com a sua massa, foram capeados com pasta de cimento (Figura 9) e dispostos de modo que os mais leves foram utilizados para as fiadas inferiores e os mais pesados para as superiores.

Figura 9 - Capeamento dos blocos.

Fonte: Autoras.

4.3.2 Produção das Argamassas

Com o bloco de concreto definido (8 MPa), foram realizados ensaios preliminares com três traços de argamassa mista. Sendo o intermediário 1:0,57:4,85:0,87 (cimento:cal:areia:água). Alterando-se a quantidade de areia e água, tem-se o traço 1 (1:0,57:3,35:0,65) e o traço 2 (1:0,57:6,35:0,98). As argamassas foram preparadas na argamassadeira de bancada e ensaiadas para determinar a consistência por meio do *flow table.* Logo após, foram moldados corpos de prova prismáticos para a realização dos ensaios de resistência à compressão e tração na flexão. Com os resultados, obteve-se uma Curva de Abrams e a Lei de Lyse para determinar um proporcionamento de argamassa mista compatível com a unidade.

A argamassa múltiplo uso foi a mais encontrada nos comércios da Grande Vitória, por isso foi a utilizada. Com as informações do fabricante, a dosagem da água foi calculada de forma a resultar em uma resistência similar à argamassa mista.

Para a argamassa estabilizada, foi realizada uma adaptação do traço de Mello (2020), de modo que a resistência à compressão fosse compatível com as duas

argamassas anteriormente citadas. Os proporcionamentos em massa utilizados para as argamassas mista e estabilizada serão expostos a seguir.

A mistura das argamassas ocorreu da seguinte forma: colocando-se um pouco de água, depois os materiais secos (areia, cimento e cal, esse último, somente na argamassa mista), o restante da água, e, por fim, a adição dos aditivos, no caso da argamassa estabilizada. A mistura foi realizada com auxílio de um misturador elétrico portátil (Figura 10) devido às quantidades necessárias de argamassas para a moldagem dos prismas.

Figura 10 - Misturador elétrico portátil.

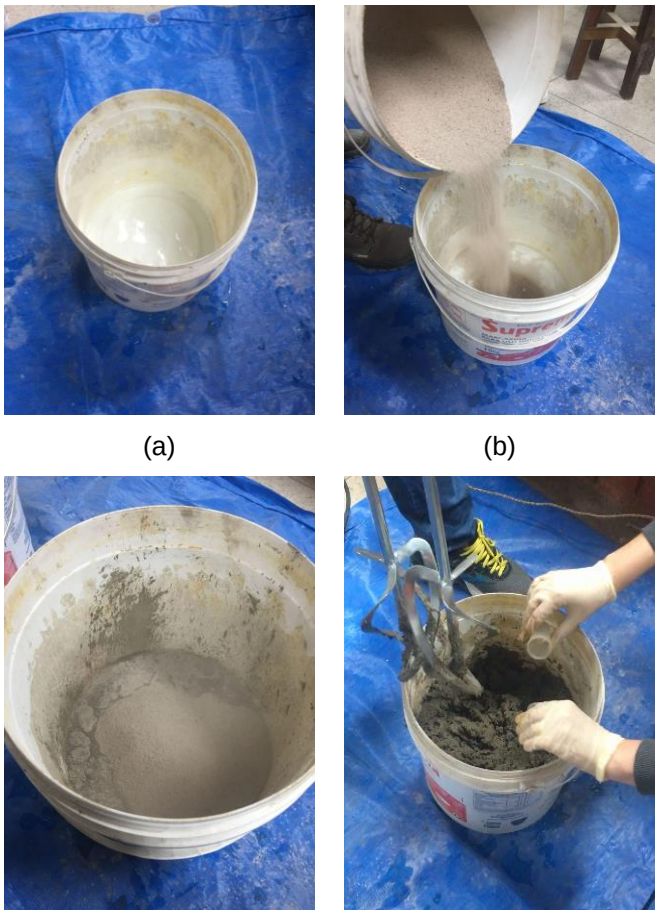
Fonte: Autoras.

A princípio, a argamassa estabilizada foi produzida utilizando um proporcionamento em massa 1:9,56:1,15:0,43%:0,71% (cimento:areia:água:estabilizador de hidratação:incorporador de ar), adaptado de Mello et al. (2020), para a resistência requerida. Após as 6h de estabilização, foi realizado um teste de assentamento, e notou-se que houve o esmagamento da junta fresca, ou seja, a argamassa não suportou o peso da unidade, indicando que a mistura apresentava-se inadequada para a finalidade. Em decorrência disto, foi realizado um ajuste na quantidade de areia, e a argamassa foi novamente misturada, resultando em um proporcionamento de 1:11,42:1,15:0,43%:0,71%. Após o ajuste, não se observou dificuldades na utilização da argamassa na moldagem dos prismas.

Realizou-se a mistura da argamassa estabilizada, fazendo referência à forma como a mesma poderia ser aplicada em obra (ser preparada no início da manhã, podendo ser utilizada por um período maior ao longo do dia). A argamassa estabilizada teve 6h de estabilização, ou seja, foi misturada às 9h30min e os ensaios e moldagem

dos prismas ocorreram às 15h30min. O seu procedimento de mistura pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Procedimento de mistura utilizado para argamassa estabilizada: (a) parte da água, (b) materiais secos, (c) restante da água e (d) aditivos.



(a) (b)

(c) (d)

Fonte: Autoras.

Em relação à argamassa industrializada, visando obter uma resistência compatível com o bloco de concreto adotado, optou-se por utilizar um teor de água ligeiramente inferior ao indicado pelo fabricante. Inicialmente, foi adicionada à mistura 90% da quantidade recomendada. Ao realizar uma análise tátil visual, verificou-se a necessidade de um ajuste para que não houvesse esmagamento da junta. Para efetuar esse ajuste, foi realizado um acréscimo de argamassa anidra. A mistura produzida resultou num teor de água de 12,29%, cerca de 2% menor que a recomendação.

Para a argamassa mista, no estudo preliminar, obteve-se o proporcionamento e massa de 1:0,57:6,25:1,05 (cimento:cal:areia:água). Porém, ao promover a mistura dos materiais, notou-se que a consistência obtida não estava adequada para o

assentamento dos blocos. Dessa maneira, foi realizado um ajuste na quantidade de areia, resultando em um proporcionamento de 1:0,57:7,97:1,05.

Posteriormente ao preparo de cada argamassa, foram realizados os ensaios do estado fresco. Visualmente observaram-se as consistências e as mesmas foram testadas quanto à sustentação do bloco sem o esmagamento da junta. As três argamassas foram submetidas a todos os ensaios descritos no item 3.1.2. Primeiramente, o ensaio de índice de consistência, e em seguida, os demais: retenção de água e massa específica. Além disso, foram moldados os corpos de prova cilíndricos e prismáticos para avaliação das propriedades no estado endurecido.

Após 7 dias da produção das argamassas e moldagem dos prismas, os corpos de prova foram desmoldados (Figura 12 e Figura 13) e deixados fora da câmara úmida, para garantir a mesma situação dos prismas.

Figura 12 - Corpos de prova prismáticos: estabilizada (a), industrializada (b) e mista (c).

(a) (b) (c)

Fonte: Autoras.

Figura 13 - Corpos de prova cilíndricos.

Fonte: Autoras.

4.3.3 Moldagem de Prismas

A moldagem dos prismas para ensaio de resistência à compressão foi realizada utilizando as três argamassas selecionadas anteriormente.

A ABNT NBR 16868-2 (2020) determina que sejam moldados no mínimo seis corpos de prova para a determinação da resistência à compressão quando trata-se de controle tecnológico em canteiros de obras. Contudo, por questões relacionadas a tempo e espaço disponível, optou-se por moldar apenas quatro corpos de prova. Sendo assim, para cada argamassa, foram moldados quatro prismas de 2 fiadas para o ensaio de resistência à compressão. Sendo assim, foram moldados no total 12 prismas de duas fiadas, mantidos no mesmo local da moldagem até a data da ruptura.

Os prismas foram confeccionados conforme recomendação normativa e de literatura, com junta aproximada de 10 ± 3 mm. A argamassa foi aplicada em toda a superfície da face superior do bloco (argamassamento total), com o auxílio de uma desempenadeira e uma colher de pedreiro. Em seguida, o bloco superior foi assentado, garantindo que não houvesse esmagamento da junta. Após o assentamento, foram realizadas as correções de nivelamento e prumo necessárias. O procedimento de moldagem acima descrito pode ser verificado nas Figuras 14, 15 e 16.

Figura 14 - Junta antes e imediatamente após o assentamento do bloco.

Fonte: Autoras.

Figura 15 - Nivelamento e verificação do prumo.

Fonte: Autoras.

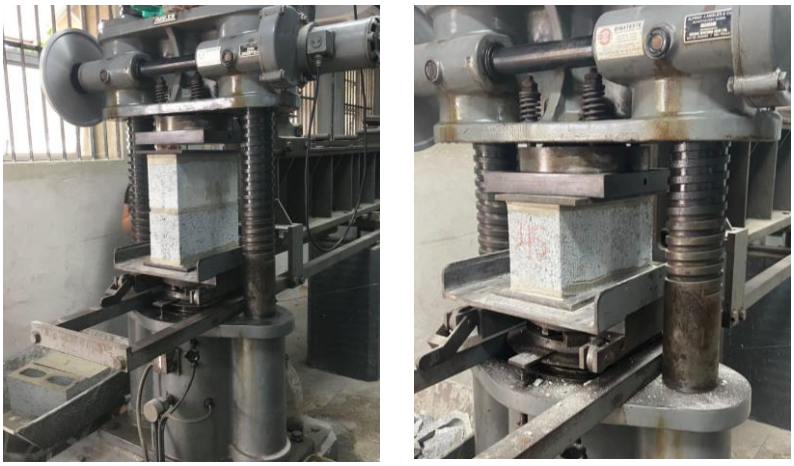
.

Figura 16 - Prismas moldados.

Fonte: Autoras.

A ruptura dos corpos de prova de argamassa e dos prismas foi realizada aos 28 dias. Para calcular o fator de eficiência dos prismas, no dia do rompimento dos prismas, foi realizado também o ensaio de resistência à compressão dos blocos de concreto (Figura 17).

Figura 17 - Ensaio de resistência à compressão do prisma (a) do bloco de concreto (b).



(a) (b)

Fonte: Autoras.

Para determinar o modo de ruptura dos prismas, foi observado o momento de fissuração nos blocos e/ou esmagamento da junta antes da ruptura final, anotando os valores das cargas no momento em que eram observados. Nos casos em que se observou somente esmagamento, facilmente identificou-se o modo de ruptura. Quando observado a fissuração do bloco e logo após a ruptura final, o que determinou o modo de ruptura, foi analisada a diferença dos valores das forças de fissuração e de ruptura, quando possuíam diferença igual ou inferior a 5000 kgf, considerou-se ruptura do conjunto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o estudo em questão, serão apresentados a seguir, dividindo-se em: blocos (absorção e resistência à compressão), argamassas (mista, industrializada e estabilizada) e seus respectivos prismas.

5.1 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS BLOCOS DE CONCRETO

Foram previamente selecionados seis blocos com peso intermediário, capeados com pasta de cimento nas duas faces, para serem ensaiados à compressão. Os ensaios foram realizados na mesma data do rompimento dos prismas, de modo a permitir o cálculo do fator de eficiência. Na ocasião, os blocos tinham uma idade aproximada de 48 dias. Os resultados estão apresentados na Tabela 7. A resistência à compressão característica dos blocos foi de 18,19 MPa.

Tabela 7 - Resistência à compressão e massa dos blocos ensaiados.

Bloco	Resistência à compressão (MPa)	Massa (kg)
1	18,28	13,93
2	18,68	13,90
3	18,77	13,80
4	19,13	13,77
5	19,85	13,89
6	21,22	13,76

Fonte: Autoras.

Esperava-se que os blocos apresentassem resistência à compressão por volta de 8 MPa, conforme especificado no momento da aquisição, o que não aconteceu. O fornecedor, disponibilizou um laudo atestando que o lote entregue obteve resistência conforme especificação. Acredita-se que, por motivos desconhecidos, os blocos entregues não correspondem ao lote do laudo fornecido.

Frente a essa divergência entre bloco especificado e recebido, o ideal seria que os ensaios fossem realizados novamente, com blocos de 8 MPa, mas a situação da

pandemia do coronavírus e as reformas no laboratório, dificultaram que os ensaios fossem refeitos.

Para determinar a absorção foram utilizados 3 blocos de concretos e os dados estão apresentados na Tabela 8. A absorção total do lote foi de 3,78%. O critério de aceitação para absorção de blocos de concreto, segundo a ABNT NBR 6136 (2016), é que a absorção média seja menor ou igual a 8%, portanto, o lote passou quanto a esse quesito.

Tabela 8 - Resultados de absorção dos blocos.

Bloco	**Mseca**	**Msat**	**Absorção (%)**
7	13,67	14,19	3,80
8	13,69	14,22	3,87
9	13,4	13,89	3,66
Absorção total			3,78

Fonte: Autoras.

Em relação à verificação das características geométricas e inspeção visual, o lote também foi considerado adequado. A caracterização dos blocos pode ser observada na Tabela 9.

Tabela 9 - Propriedades dos blocos de concreto.

Propriedade	**Média**	**Desvio Padrão**
Comprimento (mm)	140,33	0,52
Largura (mm)	390,00	0,00
Altura (mm)	189,33	0,47
Área Bruta (cm²)	547,3	2,01
Massa (kg)	13,81	0,15
Absorção (%)	3,78	0,11
Resistência à compressão (MPa)	18,19*	1,07

*Valor da resistência característica à compressão calculada conforme a NBR 6136 (2014)

Fonte: Autoras.

5.2 PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS

A seguir, serão apresentadas algumas considerações e observações sobre o estudo de dosagem da argamassa mista e a produção das argamassas ensaiadas, bem como suas propriedades, avaliadas no estado fresco (índice de consistência, retenção de água e massa específica) e no estado endurecido (resistência à compressão e resistência à tração na flexão).

5.2.1 Estudo de dosagem da argamassa mista

O estudo de dosagem da argamassa mista consistiu em preparar três traços, variando-se a quantidade de areia e água. No estado fresco, analisou-se a consistência, por meio do ensaio de *flow table.* Em seguida, foram moldados os corpos de prova prismáticos.

Após 7 dias, obteve-se os resultados no estado endurecido: resistência à compressão e resistência à tração na flexão. Os resultados apresentados na Tabela 10, para os ensaios no estado endurecido, são os resultados potenciais, visto que, a condição das formas pode ter influenciado para a grande variação dos resultados.

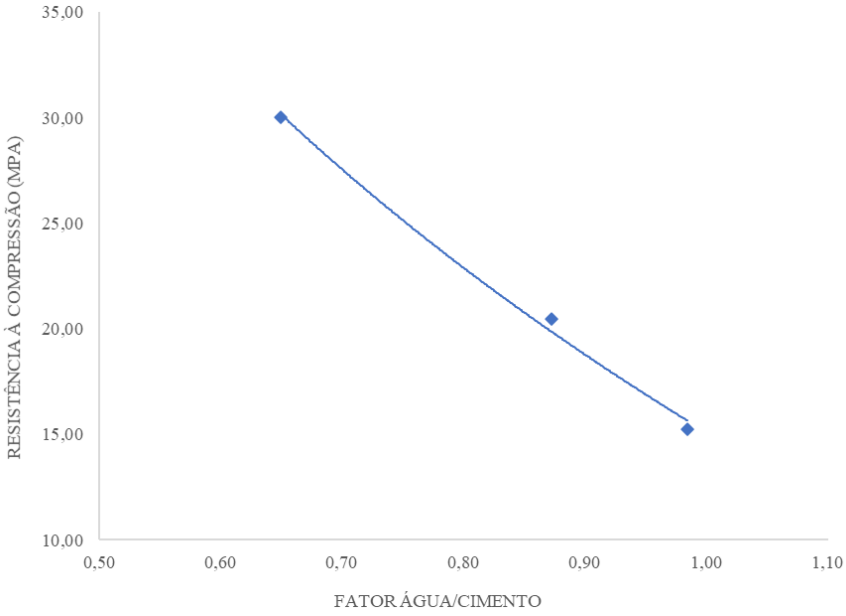
Tabela 10 - Resultados dos três traços preliminares de argamassa mista.

Traço	**Relação a/c**	**Índice de consistência (flow table) (mm)**	**Resistência à tração na flexão (MPa)**	**Resistência à compressão com 7 dias (MPa)**
Intermediário	0,87	291	5,59	20,46
1	0,65	227	7,59	30,02
2	0,98	218	4,25	15,23

Fonte: Autoras.

Com os valores das relações água/cimento e das resistências à compressão, obteve-se o gráfico da Figura 18.

Figura 18 - Gráfico de Resistência à compressão x Fator água/cimento.



Fonte: Autoras.

Com os logarítmos das resistências à compressão e os fatores água/cimento, tem-se uma relação linear para obtenção do valor k1 e k2, resultando na equação da Lei de Abrams (Equação 8).

$$f_{cj} = \frac{112,64}{7,47^{a/c}} \qquad \text{Equação 8}$$

Com os valores das relações agregado/cimento e das relações água/cimento, tem-se também uma relação linear para obtenção de k3 e k4, resultando na equação da Lei de Lyse (Equação 9).

$$m = 8,77 \times \frac{a}{c} - 2,46 \qquad \text{Equação 9}$$

Como resultado do estudo de dosagem, obteve-se o proporcionamento em massa de 1:0,57:6,25:1,05 (cimento:cal:areia:água) para a argamassa mista utilizada na pesquisa.

5.2.2 Resultados no estado fresco

Na Tabela 11, estão apresentados os resultados dos ensaios das argamassas

no estado fresco.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios com as argamassas no estado fresco.

Argamassa	Índice de consistência (flow table) (mm)	Retenção de água	Massa específica (kg/m³)	Teor de ar incorporado (%)
Estabilizada	226	62,9	1884	19
Industrializada	203	76,6	1827	19
Mista	255	91,8	2030	10

Fonte: Autoras

Como abordado na revisão de literatura (item 2.2.3.1), o valor do índice de consistência para as argamassas de assentamento comumente utilizadas para assentamento de alvenaria estrutural varia entre 230 e 280 mm. As argamassas estabilizada e mista mostraram-se próximas aos limites recomendados. Porém, não se mostrou um parâmetro assertivo com relação à argamassa industrializada. Apesar disso, a mesma ao ser analisada tátil e visualmente, além de garantir sustentação para bloco, não havendo o esmagamento da junta, resultou em uma argamassa com consistência adequada para o assentamento, mesmo estando com o valor do índice fora dos limites recomendados na literatura. O espalhamento das argamassas pode ser visualizado na Figura 19.

Figura 19 - Ensaio de índice de consistência: argamassa estabilizada (a), industrializada (b) e mista (c).

(a)

(b)

(c)

Fonte: Autoras.

A argamassa mista apresentou o maior valor para massa específica. Isso se deve a ausência de aditivo incorporador de ar nessa argamassa, uma vez que esse aditivo é utilizado na argamassa estabilizada e está frequentemente presente nas industrializadas. Além disso, no momento do assentamento, devido ao fato de ser uma argamassa mais pesada que as demais, exigiu mais esforço e uma maior dificuldade. É válido observar que a mesma perdeu trabalhabilidade rapidamente, pois no momento do assentamento, apresentava-se quebradiça e menos coesa, diferente do seu aspecto no momento do ensaio de índice de consistência. Além disso, verificou-se que uma pequena quantidade da cal não foi incorporada à mistura (Figura 20), o que pode ter contribuído para uma menor trabalhabilidade da argamassa.

Figura 20 - Cal que não foi incorporada corretamente à argamassa.

Fonte: Autoras.

A argamassa industrializada, por possuir os materiais uniformemente graduados e aditivos, e a estabilizada devido à presença de aditivos incorporadores de ar, apresentaram-se mais trabalháveis e de fácil manuseio.

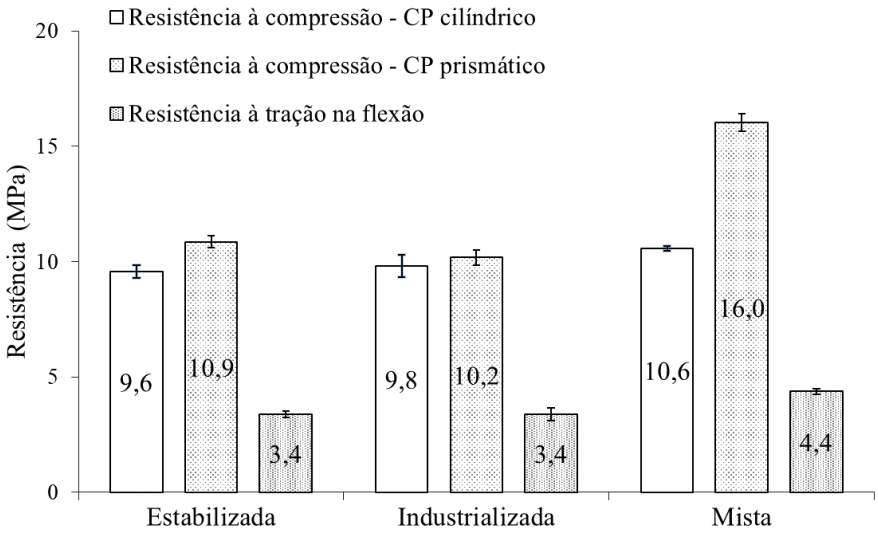
Verificou-se que, devido à presença de aditivos, as argamassas industrializada e estabilizada apresentaram altos teores de ar incorporado, e por consequência, menor massa específica. Esses valores são compatíveis com os encontrados por outros autores ao analisar as propriedades de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural. Para a argamassa estabilizada, os resultados de Lozovey (2018) indicaram que o teor de ar incorporado entre 18% e 22%. Além disso, Schankoski (2012) encontrou o teor de 17,8 % para a argamassa industrializada de múltiplo uso. É valido ressaltar que, o aumento do tempo de mistura das argamassas devido à necessidade de ajustes de material pode ter contribuído para um aumento nesse teor.

Segundo estudos, para não comprometer o desempenho da parede, as argamassas devem apresentar valores de retenção de água dentro de limites toleráveis, a ASTM C 270 indica que a retenção de água deve ser superior a 75% e não limita o valor máximo. Observa-se que a argamassa estabilizada apresentou um resultado inferior ao esperado, enquanto as outras duas, apresentaram valores dentro do intervalo.

5.2.3 Resultados no estado endurecido

A Figura 21 apresenta os resultados das argamassas no estado endurecido: resistência à compressão (corpo de prova cilíndrico e prismático) e resistência à tração na flexão.

Figura 21 - Resultados dos ensaios no estado endurecido.



* As barras de erro representam 68,3% de probabilidade de acontecer tal oscilação dentro da faixa de um desvio padrão, tanto para mais quanto para menos em relação à média.

Fonte: Autoras.

As argamassas apresentaram resistências semelhantes entre si, o que era esperado, pois o objetivo é comparar o desempenho das mesmas quando utilizadas na alvenaria.

A resistência de tração na flexão das argamassas estudadas representou aproximadamente 30% da sua resistência à compressão em média, e as argamassas mistas apresentaram os maiores valores.

Segundo Capraro et al. (2019) o atrito do corpo de prova com o prato da prensa altera as distribuições de tensões e os resultados das configurações cilíndricas, em todos os casos do estudo, foram menores quando comparados aos corpos de prova prismáticos e cúbicos. O mesmo ocorreu com os resultados obtidos com as três argamassas testadas nesse trabalho.

A norma atual de alvenaria estrutural recomenda a limitação da resistência à compressão da argamassa à 1,5 vezes a resistência característica do bloco, enquanto a versão antiga sugere que a resistência da argamassa fique em torno de 70% da resistência do bloco. Desse modo, para blocos de 8 MPa, as argamassas estariam com as resistências desejadas. Mas, como os blocos apresentaram resistência na faixa de 18 MPa, as argamassas produzidas resultaram em resistências adequadas ao limite normativo atual, porém abaixo do recomendado pela norma antiga e pela literatura.

Durante a etapa de preparação dos corpos de prova cilíndricos para o ensaio de resistência à compressão, notou-se que para a argamassa estabilizada, o corpo de

prova ao ser capeado apresentou uma superfície de aspecto arenoso, conforme Figura 22. Esse aspecto arenoso, juntamente com a baixa retenção de água, podem explicar os baixos valores de resistência à compressão dos prismas e o modo de ruptura dos mesmos que serão abordados a seguir. Supostamente, esses fatores podem ter prejudicado a aderência bloco/junta.

Figura 22 - Corpo de prova de argamassa estabilizada após fresagem.

Fonte: Autoras.

5.3 PROPRIEDADES DOS PRISMAS

As resistências individuais dos prismas, a resistência média e a característica, estão apresentadas na Tabela 12, assim como, os fatores de eficiência de cada conjunto em relação à média.

Tabela 12 - Cálculo da resistência média e fator de eficiência dos prismas.

Argamassa	**CP**	**Resistência Individual (MPa)**	**Resistência Média (MPa)**	**Desvio padrão (MPa)**	**Fator de eficiência médio**
E	1	3,97	4,88	1,90	0,27
	2	6,11			
	3	6,77			
	4	2,66			

Continua.

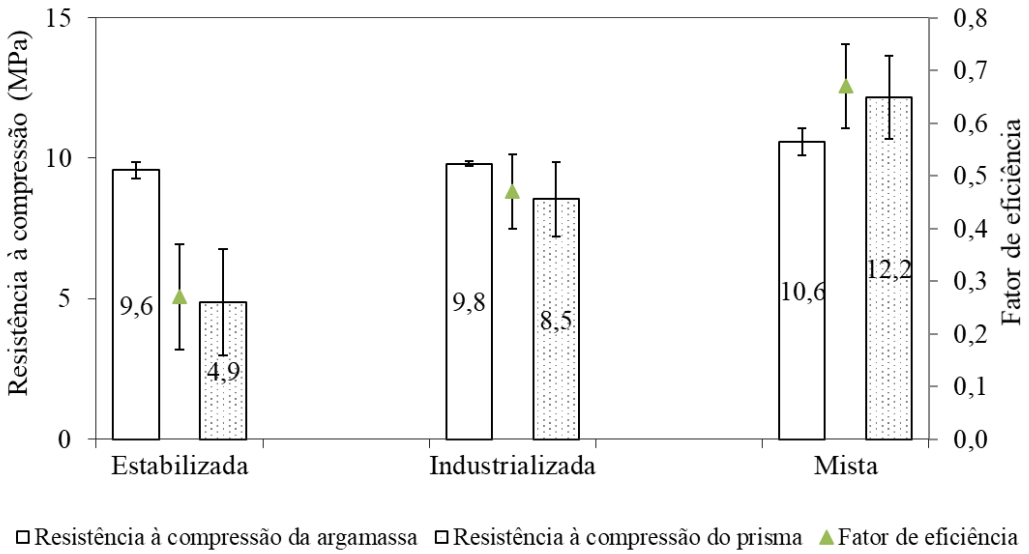
Continuação Tabela 12.

Argamassa	CP	Resistência Individual (MPa)	Resistência Média (MPa)	Desvio padrão (MPa)	Fator de eficiência médio
I	1	9,27	8,54	1,33	0,47
	2	9,63			
	3	8,62			
	4	6,65			
M	1	12,52	12,17	1,48	0,67
	2	12,82			
	3	10,00			
	4	13,33			

Fonte: Autoras.

Na Figura 23 é apresentada uma comparação entre a resistência da argamassa (corpo de prova cilíndrico) com a resistência à compressão do prisma e seu respectivo fator de eficiência.

Figura 23 - Comparativo entre resistência à compressão das argamassas, prismas e fator de eficiência.



* As barras de erro representam 68,3% de probabilidade de acontecer tal oscilação dentro da faixa de um desvio padrão, tanto para mais quanto para menos em relação à média.

Fonte: Autoras.

Ramalho e Corrêa (2003) afirmam que os valores da eficiência prisma-bloco no Brasil, variam de 0,5 a 0,9 para blocos de concreto. Neste trabalho, observa-se que

somente a argamassa mista resultou em um fator de eficiência na faixa descrita. Nas outras duas esse intervalo não foi atingido. Destaca-se ainda, que o maior fator de eficiência dos prismas ocorreu com o emprego da argamassa mista, que também foi a argamassa mais resistente à compressão (corpos de prova cilíndricos) e à tração na flexão.

Os valores obtidos podem estar relacionados a alguns fatores, como a falta de compatibilidade entre a resistência da argamassa e da unidade de alvenaria, problemas de aderência entre argamassa e substrato, entre outros. Nesse caso, pode-se atribuir o desempenho reduzido da alvenaria, principalmente à questão da compatibilidade de resistências entre bloco e argamassa. Apesar de não ter sido desenvolvida uma avaliação da aderência entre argamassa e substrato, é válido ressaltar que essa propriedade também influenciou nos resultados, principalmente relacionado à argamassa estabilizada.

Ao analisar a resistência individual dos prismas, podem ser feitas também algumas observações a respeito da variação do desempenho. Para a mesma argamassa, observam-se uma variação considerável na resistência dos prismas. Parte dessa variação pode ser justificada com base em alguns fatores do processo executivo. Sendo eles: falhas no capeamento, na execução da junta e no assentamento dos blocos. Esses fatores podem influenciar na resistência do prisma, visto que podem gerar concentração de tensões.

A título de comparação, a resistência média dos prismas foi recalculada, desconsiderando o valor de resistência individual que mais se distanciou dos demais. Foi analisado também qual o fator de eficiência resultante em relação à nova resistência média obtida. Apesar de a análise resultante ser composta de apenas 03 prismas, pode-se ter uma noção do impacto da variação e de possíveis falhas de execução na resistência do conjunto.

Para a argamassa estabilizada, o desvio padrão da resistência dos prismas foi de 1,9 MPa, o que indica uma variação considerável nos resultados. Se desconsiderado o resultado mais destoante, a resistência média dos prismas passa para 5,62 MPa, e o fator de eficiência relacionado 0,31. Esses resultados mostram que apesar de ainda apresentar um desempenho relativamente baixo, o fator de eficiência apresenta-se 14% maior que o obtido com toda amostra.

Realizando o mesmo procedimento para a argamassa industrializada, cujo valor de desvio padrão foi de 1,33 MPa, ao desconsiderar o menor resultado, obtém-se uma

resistência média de 9,17 MPa, e fator de eficiência de 0,50.

Ao analisar a argamassa mista, nota-se que essa variação foi relativamente maior que a industrializada, apresentando um desvio padrão de 1,48 MPa. Se desconsiderado o prisma que mais variou em relação aos demais, a resistência média vai de 12,17 MPa para 12,89 MPa. Com isso, o fator de eficiência vai de 0,67 para 0,70.

Além da avaliação da resistência à compressão média das amostras e do fator de eficiência, foram avaliados os modos de ruptura de cada corpo de prova ensaiado. A Tabela 13 mostra o comportamento de cada prisma ensaiado até o rompimento.

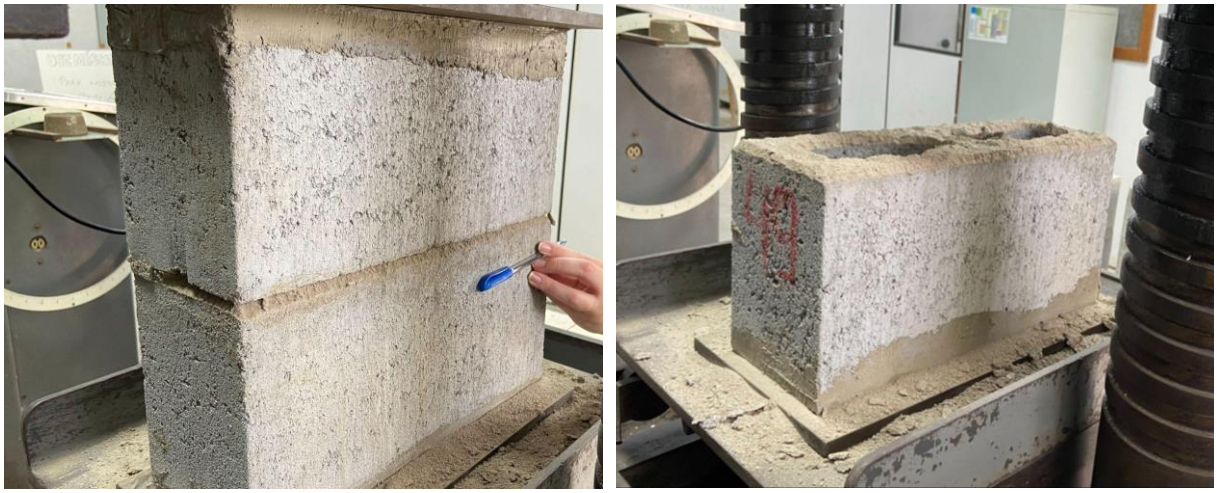
Tabela 13 - Cargas e modos de ruptura.

Arg.	CP	Esmagamento da junta (kgf)	Fissuração do bloco (kgf)	Rompimento do prisma (kgf)	Resist. Compressão (MPa)	Fator de eficiência	Forma de Ruptura
E	1	22100	-	22100	3,97	0,22	Esmagamento da junta
	2	32800	-	34000	6,11	0,34	
	3	34500	-	37700	6,77	0,37	
	4	14800	-	14800	2,66	0,15	
I	1	34600	26900	51600	9,27	0,51	Tração no bloco
	2	49500	42000	53600	9,63	0,53	
	3	44000	-	48000	8,62	0,47	Esmagamento da junta
	4	33500	-	37000	6,65	0,37	
M	1	69700	63800	69700	12,52	0,69	Tração no bloco
	2	-	42000	55700	10,00	0,55	
	3	70500	-	71400	12,82	0,71	Ruptura do conjunto
	4	-	-	74200	13,33	0,73	

Fonte: Autoras.

Ao analisar os resultados, observa-se que a argamassa estabilizada estudada não apresentou desempenho satisfatório na compressão de prismas de duas fiadas, pois todos os prismas moldados com essa argamassa apresentaram ruptura por esmagamento da junta, conforme Figura 24. Segundo Mohamad (2007), esse tipo de ruptura acontece quando a tensão de compressão axial da argamassa atinge a resistência à compressão da argamassa confinada. E isso mostra a incompatibilidade da argamassa utilizada com os blocos de concreto de 18 MPa.

Figura 24 - Modo de ruptura por esmagamento da junta - argamassa estabilizada.



Fonte: Autoras.

As argamassas mista e a industrializada tiveram variações nos modos de ruptura. Por mais que as resistências das argamassas nos corpos de prova resultaram em valores bem menores que 18 MPa, ocorreram casos de ruptura por tração no bloco. Isso porque a resistência da argamassa na junta é maior que a resistência no corpo de prova. Além disso, falhas no assentamento e no capeamento, por exemplo, podem ocasionar concentração de tensão no prisma.

Nos corpos de prova em que o colapso se deu por tração no bloco, foi possível observar que, após a ruptura, a junta de argamassa encontrava-se sem alterações. A Figura 25 demonstra o comportamento observado.

Figura 25 - Ruptura por tração no bloco.

Fonte: Autoras.

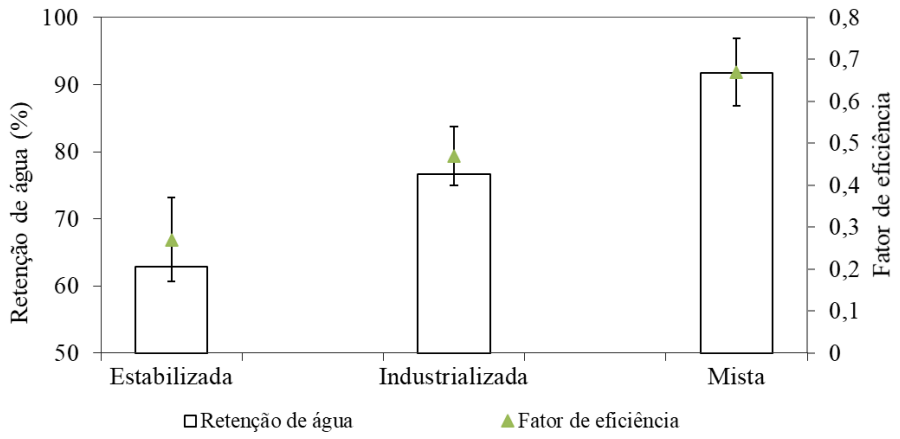
Em alguns prismas foi observada a ruptura do conjunto, conforme observado na Figura 26. Nesse tipo de colapso pode-se observar tanto ruptura do bloco, quanto esmagamento da junta de argamassa. Esse modo de ruptura, é considerado o ideal. Esses resultados foram obtidos para dois dos prismas moldados utilizando argamassa mista. Entre todos os corpos de prova analisados, estes foram os que apresentaram o melhor desempenho, com fatores de eficiência individuais de 0,71 e 0,73, indicando uma interação satisfatória entre os componentes do elemento de alvenaria.

Figura 26 - Ruptura do conjunto.

Fonte: Autoras.

Após avaliar o modo de ruptura dos prismas, foi possível notar que, o fator de eficiência e o desempenho das amostras cresceu à medida que a retenção de água das argamassas no estado fresco aumentou, conforme observado na Figura 27.

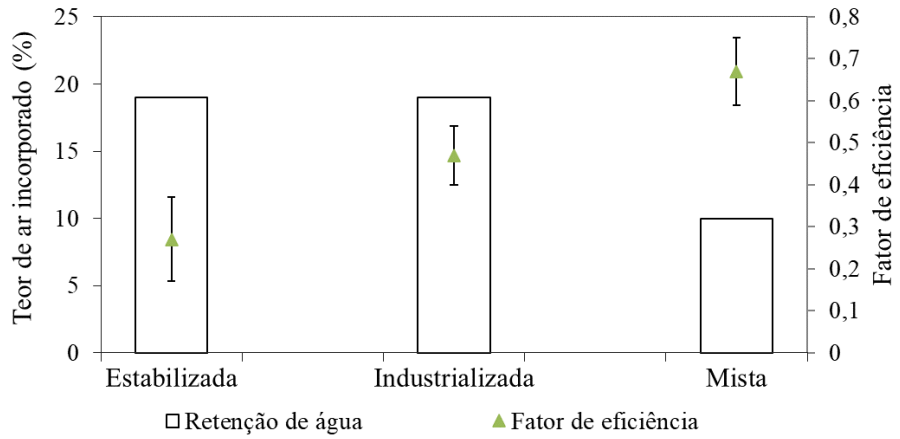
Figura 27 - Retenção de água x fator de eficiência.



* As barras de erro representam 68,3% de probabilidade de acontecer tal oscilação dentro da faixa de um desvio padrão, tanto para mais quanto para menos em relação à média.
Fonte: Autoras.

Observou-se ainda que, quando houve um aumento no teor de ar incorporado o fator de eficiência médio reduziu, conforme observado na Figura 28. Essa tendência vai ao encontro dos resultados obtidos por Casali (2003) e Schankoski (2012), que obtiveram os prismas com maior resistência à compressão para as argamassas com os menores teores de ar incorporado.

Figura 28 - Teor de ar incorporado x fator de eficiência.



* As barras de erro representam 68,3% de probabilidade de acontecer tal oscilação dentro da faixa de um desvio padrão, tanto para mais quanto para menos em relação à média.
Fonte: Autoras.

É válido ressaltar que, dentre todas as argamassas ensaiadas, a argamassa mista demonstrou o melhor desempenho final. Apesar de não apresentar um desempenho individual satisfatório no estado fresco, devido à perda de trabalhabilidade

de forma rápida, ela resultou no melhor desempenho no estado endurecido e nos testes em prismas, tanto em modo de ruptura do elemento de alvenaria, quanto nos valores de resistências à compressão obtidos. Essa característica de desempenho superior da argamassa mista também foi observada nos resultados de Casali (2003) e Schankoski (2012) quando comparada com a argamassa industrializada.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar a influência da argamassa nas propriedades mecânicas da alvenaria estrutural, por meio da variação do tipo de argamassa empregada. Este estudo foi desenvolvido utilizando três tipos de argamassa de assentamento: estabilizada, industrializada e mista. Cada uma delas foi empregada na moldagem de prismas de duas fiadas com junta de 10 mm.

Com o estudo, foi possível tecer algumas conclusões sobre as argamassas e a sua influência nas características dos prismas. O método utilizado para avaliação do desempenho da alvenaria, com corpos de prova reduzidos (prismas), mostrou-se válido para estimar resultados importantes, por mais que a compatibilização entre bloco e argamassa não fosse a esperada.

No que se refere à compatibilização entre bloco e argamassa, um fator que não deveria ser variável, acabou sendo, que era a resistência da unidade de concreto. Toda a dosagem das argamassas baseou-se para um bloco de 8 MPa, contudo, os blocos utilizados possuíam 18 MPa em média. Esse fato, fez com que as argamassas não fossem totalmente compatíveis com os blocos e os resultados não saíssem conforme o esperado.

Com o estudo das argamassas no estado fresco, pode-se constatar que a retenção de água das argamassas é um fator de forte influência nas características de desempenho da alvenaria (aderência e resistência à compressão), sendo que, quanto maior a retenção de água apresentada pelas argamassas, melhores foram as características dos prismas. Além disso, constatou-se a influência dos aditivos, observando que, com a adição de aditivos as argamassas apresentaram maiores teores de incorporação de ar, por outro lado, apresentaram menores valores de resistência à compressão.

Em relação às argamassas estudadas, pode-se concluir que a argamassa mista, (tipo mais comum, dosada em obra e utilizada há anos), apresentou-se mais viável para o assentamento de alvenaria estrutural, visto que apresentou os melhores desempenhos na maioria dos parâmetros avaliados nesse estudo. Apesar de ter apresentado uma maior perda de trabalhabilidade com o tempo demandado para o assentamento, prismas produzidos com argamassa mista apresentaram fatores de eficiência maiores do que aqueles moldados com argamassas industrializadas e estabilizadas. Esse desempenho superior da argamassa mista converge com os

resultados observados na literatura.

Por outro lado, a argamassa industrializada também mostrou-se promissora para o assentamento em alvenaria estrutural. Devido aos aspectos de padronização e racionalização, vale a pena ser estudada mais a fundo, pois, apresentou resultados relevantes, apesar da questão de compatibilização com a resistência do bloco.

O ponto sensível da pesquisa foi a argamassa estabilizada, devido a uma série de fatores. O ajuste de areia efetuado para a sustentação da junta no momento do assentamento, assim como a baixa retenção de água apresentada, podem ter contribuído para prejuízos na resistência e na aderência entre a junta e o bloco. Como os fatores de eficiência para a argamassa estabilizada foram muito baixos, se faz necessário um estudo de traço mais adequado para o assentamento.

Diante dos resultados apresentados neste trabalho, pode-se constatar que nenhuma das argamassas estudadas mostrou-se totalmente adequada para o emprego no assentamento de alvenaria estrutural com blocos de elevada resistência. As argamassas mistas podem produzir alvenarias com desempenho à compressão satisfatórios (alto fator de eficiência), entretanto possuem prejuízos quanto a trabalhabilidade. Já as argamassas industrializadas (múltiplo uso) e estabilizadas apresentam trabalhabilidade e consistências adequadas para esse tipo de aplicação, porém, apresentaram resistências e aderências inadequadas, resultando em fatores de eficiência abaixo do esperado. Desse modo, concluiu-se que, todas as argamassas empregadas no estudo demandam algum tipo de ajuste.

De forma geral, pode-se dizer que argamassas mistas são as argamassas de melhor desempenho para assentamento de alvenaria estrutural. No entanto, conforme exposto anteriormente, essas argamassas podem não apresentar todas as características desejáveis para o assentamento. Sendo assim são necessários outros estudos para avaliar/solucionar os problemas apresentados. Para tal, como sugestão para trabalhos fututos, sugere-se:

- Estudo com os três tipos de argamassa e blocos de concreto compatíveis (menores resistências);
- Estudo de traço para argamassa estabilizada (analisando também a aderência dos prismas);
- Estudos relacionados à perda de trabalhabilidade das argamassas, por meio da execução das juntas em tempos diferentes após a mistura da argamassa;
- Estudo com os três tipos de argamassa e blocos de cerâmica vermelha.

7 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 270: Mortar for unit masonry.** Philadelphia, 1987.

ANTONIAZZI, J. P.; MOHAMAD, G.; CASALI, J. M.; SCHMIDT, R. P. B.; TRINDADE, B. **Ação dos aditivos Estabilizador de hidratação e incorporador de ar em pastas de cimento Portland.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 249-262, jul./set. 2020.

ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. Brasília, 2002. Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília. 175p.

ARAÚJO, M. J. S. **Influência do teor de aditivo aerante nas propriedades das argamassas fluidas à base de cimento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

ARPINI FILHO, J. L. G. **Utilização do resíduo de beneficiamento de rochas ornamentais como adição mineral em argamassas autoadensáveis.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Espírito Santo, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR NM 23: Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR 7175: Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

_____. NBR 7215: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 8522: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e

de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

_____. NBR 12118: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. 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 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15270-1: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 15270-2: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria Parte 2: Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2017.

_____. NBR 15630: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2008.

_____. NBR 15961-1: Alvenaria estrutural - Blocos de concreto – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020 (Substituída).

_____. NBR 15961-2: Alvenaria estrutural - Blocos de concreto – Parte 1: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2020 (Substituída).

_____ NBR 16868-1: Alvenaria Estrutural – Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2020.

_____ NBR 16868-2: Alvenaria Estrutural – Parte 2: Execução e controle de obras. Rio de Janeiro, 2020.

_____ NBR 16868-3: Alvenaria Estrutural – Parte 3: Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2020.

CAMACHO, J. S. **Projetos de edifícios em alvenaria estrutural**. Notas de aula. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Paulista, 2006. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/projeto-de-edificios-de-alvenaria-estrutural.pdf Acesso em: 3 de fevereiro de 2020.

CAPRARO, D. F.A.; CAPRARO, A. P. B.; ARGENTA, M. A.; MEDEIROS, M. H. F. **Avaliação experimental e numérica da influência da forma e dimensão de corpos de prova de argamassa em ensaios de compressão.** Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. Volume 12, p. 429-444. Abril 2019.

CARASEK, H. **Argamassas**. In: ISAIA, G. C. (Ed.) Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais. 2ª edição. Vol 1. Ipsis Gráfica e Editora, São Paulo, 2010. Cap. 28. p. 893 - 943.

CARASEK, H.; ARAÚJO, R. C.; CASCUDO, O.; ANGELIM. R. **Parâmetros da areia que influenciam a consistência e a densidade de massa das argamassas de revestimento.** Revista Matéria, v.21, n.3, pp. 714-732, 2016.

CASALI, J.M. **Estudo comparativo do comportamento de diferentes tipos de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de blocos de concreto**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

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

CAVALCANTI, M. V. S.; FRANCISCO, A. M. X.; RODRIGUES, D. M.; SILVA, D. G. **Otimização das juntas de assentamento de alvenaria estrutural em blocos de concreto.** Revista Ibracon de Estruturas e Materiais. Volume 11, Number 7 (February 2018) p. 115 – 134.

DE MATOS, P. R.; SCHANKOSKI, R. A.; PILAR, R.; PRUDÊNCIO JUNIOR, L. R. **Using ready-mixed mortars in concrete block structural masonry**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 431-449, jul./set. 2020.

DI NERO, C. M. M.; ROCHA, J. F.; SILVA, I. O.; IZQUIERDO, O. S.; IZQUIERDO, I. S. **Estudo da resistência à compressão de prismas de blocos de concreto utilizando diferentes tipos de argamassas.** Anais do 62º Congresso Brasileiro de Concreto. Ibracon. Setembro/2020.

FRASSON JR., A. **Metodologia de dosagem e processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

GAVA, P. G.; MANCINI, P. S.; SAKAI, H. H. **Influência do aditivo incorporador de ar nas propriedades das argamassas de assentamento.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC. Fortaleza, 2015.

GIORDANI, C.; MASUERO, A. B. **Blended mortars: Influence of the constituents and proportioning in the fresh state.** Volume 210, p. 574-587. Construction and Building materials, 2019.

HAACH, V.G; VASCONCELOS, G.; LOURENÇO, P.B. **Influence of aggregates grading and water/cement ratio in workability and hardened properties of mortars.** Volume 25, p. 2980-2987. Construction and Building materials, 2011.

HENDRY, A.W. **Masonry walls: materials and construction.** Volume 14, Issue 8. Construction and Building materials. 2001.

ISHIKAWA, P. H. **Propriedades de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP, 2003.

KELLER, H. A; LOVATO, P. S. **Avaliação de propriedades de argamassas estabilizadas ao longo tempo decorrido do seu preparo.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

LIMA, T., E., S.; PINHEIRO, V., D.; ALEXANDRE, J.; AZEVEDO, A. R. G.; MARVILA, M. T.; ZANELATO, E. B.; MONTEIRO, S. N. **Análise da influência do padrão de assentamento em prismas de alvenaria estrutural submetidos à compressão.** Contribuição técnica ao 74º Congresso Anual da ABM – Internacional, parte integrante da AMB Week 2019, realizada de 01 e 03 de outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil.

LOZOVEY, A. C. R. **Método de Dosagem de Argamassa Estabilizada para Assentamento de Alvenaria Estrutural de Blocos de Concreto.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

MACHADO, J. F. **Análise do modo de ruptura e previsão de resistência à compressão de prismas de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos e de concreto.** Dissertação de Mestrado do Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de Concentração em Materiais de Construção Civil e Preservação Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS, Brasil, 2019.

MACIOSKI, G. ; KUSZKOWSKI, H. ; COSTA, M. R. M. M. ; CASALI, J. M. . **Avaliação**

de Propriedades no Estado Fresco e Endurecido de Argamassas Estabilizadas. In: X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Fortaleza, 2013.

MAMEDE, F. C. **Utilização de pré-moldados em edifícios de alvenaria estrutural**. Dissertação (Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

MANSUR, A.A.P.; NASCIMENTO, O. L; MANSUR, H.S. **Avaliação do teor de ar incorporado em argamassas modificadas com poli (álcool vinílico)**. In: 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, 2006.

MELLO, L. V.; PILLAR, R.; SCHANKOSKI, R. A. **Formulação de argamassa estabilizada contendo resíduo do beneficiamento de rochas ornamentais.** In: 62º Congresso Brasileiro do Concreto, Setembro/2020.

MOHAMAD, G. **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho.** Coordenado por Gihad. São Paulo: Blucher, 2015.

MOHAMAD, G. **Construções em alvenaria estrutural: materiais, projeto e desempenho.** Organizado por Gihad Mohamad. - 2. ed. Ampliada e revisada conforme a NBR 16868/2020 - São Paulo: Blucher, 2020.

MOHAMAD, G.; RIZZATTI, E; ROMAN, H. R. **Modo de ruptura, deformabilidade e resistência de pequenas paredes estruturais.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 7-22, jul./set. 2011.

MOHAMAD, G.; ROMAN, H. R.; RIZZATTI, E.; ROMAGNA, R. Alvenaria Estrutural. In: ISAIAS, G. C. (Ed.) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais.** Ipsis Gráfica e Editora, São Paulo, 2007a. Cap. 30. p. 1007 - 1036.

MOHAMAD, G; MACHADO, D. W. N; AKELE, A. C. **Alvenaria estrutural: construindo o conhecimento.** São Paulo: Blucher, 2017. *E-book* 168p. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/books/9788521211037. Acesso em: 5 de

fevereiro de 2020.

MOHAMAD, G. **Mecanismo de ruptura da alvenaria de blocos à compressão.** Tese de doutoramento, 2007.

MOTA, J. M et. al. **Influência da espessura da argamassa de assentamento na resistência à compressão axial de prismas de blocos cerâmicos.** In: 54º Congresso Brasileiro do Concreto, 2012.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** São Paulo, 2016. 5ª edição, Bookman Editora.

OLIVEIRA, R. P. **Estudo experimental da influência da argamassa de assentamento na resistência à compressão da alvenaria estrutural cerâmica.** Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2015.

PRUDÊNCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis, 2002. Editora Gráfica Palloti.

PIMENTEL, L. L., PISSOLATO JR., O.; JACINTHO, A. E. P. G. A., MARTINS, H. L. S. **Argamassa com areia proveniente da britagem de resíduo de construção civil – Avaliação de características físicas e mecânicas.** Revista Matéria, v.23, n.1, 2018.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** São Paulo: Pini, 2003.

RIZZATTI, E; ROMAN, H. R; MOHAMAD, G.; NAKANISHI, E, Y. **Tipologia de blocos cerâmicos estruturais: influência da geometria dos blocos no comportamento mecânico da alvenaria.** Revista Matéria, v. 16, n. 2, pp. 730 - 746, 2011.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C.N; ARAÚJO, H. N. **Construindo em Alvenaria Estrutural**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1999.

ROMANO, R. C. DE O.; SCHREURS, H.; SILVA, F. B. DA; CARDOSO, F. A.; BARROS, M. M. S. B. DE; JOHN, V. M.; PILEGGI, R. G. **Impacto do tipo de misturador e do tempo de mistura nas propriedades de argamassas industrializadas.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 109-118, out./dez. 2009.

ROMANO, R. C. de O.; CINCOTTO, M. A.; PILEGGI, R. G. **Incorporação de ar em materiais cimentícios: uma nova abordagem para o desenvolvimento de argamassas de revestimento.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 2, p. 289-308, abr./jun. 2018.

SABATINI, F.H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílicocalcária.** Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politecnica, Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1984.

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.

SCHANKOSKI, R. A.; PRUDÊNCIO, L.R. JR.; PILAR, R. **Influência do tipo de argamassa e suas propriedades do estado fresco nas propriedades mecânicas de alvenarias estruturais de blocos de concreto para edifícios altos.** Revista Matéria, v.20, n.4, pp. 1008 – 1023, 2015.

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

SILVA, N. G; CAMPITELI, V. C. **Correlação entre módulo de elasticidade dinâmico e resistências mecânicas de argamassas de cimento, cal e areia.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 21-35, out./dez. 2008.

SILVESTRO, A. J.; BUENO, G. M.; BRISOTTO, D. S. **Análise do comportamento mecânico de blocos estruturais cerâmicos e de concreto em função da espessura**

da argamassa de assentamento. Anais do 62º Congresso Brasileiro de Concreto. Ibracon. Setembro/2020.

SOUZA, A. F. **Otimização do uso de aditivo estabilizador de hidratação do cimento em água de lavagem dos caminhões-betoneira para produção de concreto**. 2007. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SOUZA, A. T.; CARVALHAIS, C. A; SANTOS, W. J. **Comparativo entre argamassas aditivadas e mista: análise dos aditivos incorporador de ar, retentor de água e plastificante.** VI Congresso de Engenharia Civil. Juiz de Fora, 2019.

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.

TAUIL, C. A.; NESE, F. J. M. **Alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2010.

VIEIRA, R.S. **Estudo de argamassas industrializadas para assentamento de alvenaria estrutural de bloco de concreto.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.