

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO EM BLOCOS DE CONCRETO PARA
ALVENARIA ESTRUTURAL – ESTUDO DE DESEMPENHO**

Autora: Natalia Souza Diniz Alves

Orientador: Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-Orientador: Prof. Eduardo Chahud

Belo Horizonte

Fevereiro/2018

Natalia Souza Diniz Alves

**ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO EM BLOCOS DE CONCRETO PARA
ALVENARIA ESTRUTURAL – ESTUDO DE DESEMPENHO**

Dissertação apresentada na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do título de Mestre em Construção Civil. Área de concentração: Materiais de Construção Civil. Linha de pesquisa: Materiais cimentícios.

Orientador: Prof. Antônio Neves de Carvalho Júnior

Co-Orientador: Prof. Eduardo Chahud

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

Fevereiro 2018

A474a

Alves, Natalia Souza Diniz.

Argamassa de assentamento em blocos de concreto para alvenaria estrutural - estudo de desempenho [manuscrito] / Natalia Souza Diniz Alves. – 2018.

87 f., enc.: il.

Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior.
Coorientador: Eduardo Chahud.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 83-87.

1. Construção civil - Teses. 2. Argamassa - Teses. 3. Alvenaria - Teses. 4. Desempenho - Teses. I. Carvalho Júnior, Antônio Neves de. II. Chahud, Eduardo. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 691(043)

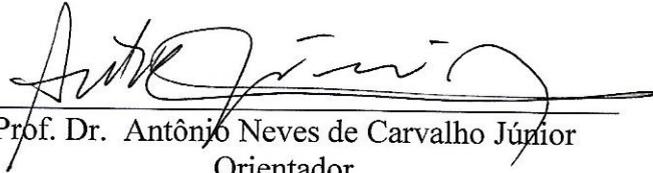
NATALIA SOUZA DINIZ ALVES

"ARGAMASSA DE ASSENTAMENTO EM BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL – ESTUDO DE DESEMPENHO"

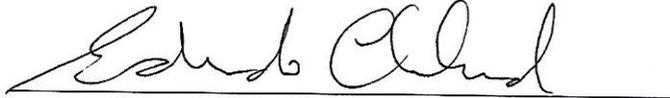
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Construção Civil do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Belo Horizonte, 27 de fevereiro de 2018

BANCA EXAMINADORA



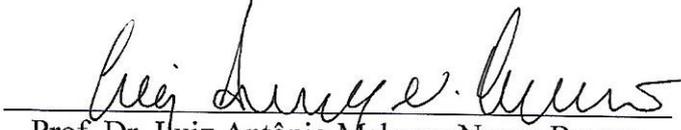
Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
Orientador
UFMG



Prof. Dr. Eduardo Chahud
Coorientador
UFMG



Profa. Dra. Edna Alves Oliveira
FEA.FUMEC



Prof. Dr. Luiz Antônio Melgaço Nunes Branco
UFMG

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	x
AGRADECIMENTOS	xii
RESUMO.....	15
ABSTRACT	16
1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVO	18
3 JUSTIFICATIVA	18
4 METODOLOGIA	20
4.1 Planejamento e determinação do estudo	20
4.2 Revisão Bibliográfica.....	20
4.3 Determinação dos traços das argamassas	20
4.4 Especificação dos materiais.....	20
4.5 Parte experimental	21
4.5.1 Caracterização dos materiais	21
4.5.2 Ensaio em argamassas	21
4.5.3 Ensaio no conjunto argamassa/bloco	21
4.6 Análise dos resultados e conclusão	22
5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
5.1 Argamassa.....	23
5.1.1 Definição.....	23
5.1.2 Argamassa de assentamento de blocos.....	23
5.1.3 Cal em argamassas.....	25
5.1.4 Ensaio de densidade de massa e ar incorporado.....	26
5.1.5 Ensaio de retenção de água	26
5.1.6 Resistência à compressão das argamassas	27
5.1.7 Retração em argamassas.....	28
5.2 Alvenaria Estrutural	29
5.2.1 Conceito	30
5.2.2 Tipos de Alvenaria Estrutural.....	30
5.2.3 Classificação das unidades componentes da Alvenaria Estrutural.....	32

5.2.4	Estado de tensões	33
5.3	Aditivos.....	35
5.3.1	Definição.....	35
5.3.2	Tipos de Aditivos	35
5.3.3	Aditivos Plastificantes	38
5.4	Aderência	39
5.4.1	Definição.....	39
5.4.2	Fatores que interferem na aderência.....	39
5.4.3	Análise dos esforços.....	41
6	Determinação dos traços das argamassas	42
7	Especificação dos materiais, equipamentos e ferramentas	44
8	Experimentos	45
8.1	Caracterização dos materiais.....	45
8.1.1	Blocos de Concreto	45
8.1.2	Agregado miúdo – areia artificial	51
8.1.3	Cimento	55
8.1.4	Argamassas.....	56
8.2	Ensaio no conjunto argamassa/bloco.....	68
8.2.1	Determinação da resistência de aderência à tração.....	68
8.2.2	Determinação da resistência ao cisalhamento	72
9	Análise de resultados.....	76
9.1	Método da Escala Gráfica	76
9.2	Definição dos fatores de aferição e comparação	77
9.3	Avaliação pelo método da escala gráfica.....	77
10	Considerações finais	81
11	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação das argamassas segundo as suas funções	23
Tabela 2 - Resultados do ensaio de determinação da taxa inicial de sucção de água (IRS), em g/200cm ² /min, segundo o método de RILEM - LUM.A.5 (1988), dos substratos em estudo.	27
Tabela 3 - Aditivos: usos	37
Tabela 4 - Guia para seleção de argamassas para alvenaria (ASTM - C 270)	42
Tabela 5 - Proporções especificadas - ASTM - C 270-82	43
Tabela 6 - Dimensões nominais	45
Tabela 7 - Classe dos blocos	47
Tabela 8 - Tamanho da amostra	48
Tabela 9 - Resultados obtidos para resistência à compressão	48
Tabela 10 - Valor de ψ em função da quantidade de blocos.....	49
Tabela 11 – Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração	50
Tabela 12 - Resumo da classificação dos blocos de concreto	50
Tabela 13 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)	51
Tabela 14 - Granulometria areia artificial	52
Tabela 15 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo	53
Tabela 16 - Ensaio areia artificial	54
Tabela 17- Ensaio químicos do cimento.....	55
Tabela 18 - Ensaio físicos e mecânicos	55
Tabela 19 - Resistência à compressão (MPa) - NBR 7215/96	55
Tabela 20 - Características da argamassa industrializada	56
Tabela 21 - Prescrição da água para argamassa industrializada.....	57
Tabela 22 - Densidade de massa (Kg/m ³).....	59
Tabela 23 - Teor de ar incorporado.....	60
Tabela 24 - Resultados Índice de consistência	61
Tabela 25 - Retenção de água	63
Tabela 26 - Resistência à Tração na Flexão 28 dias (MPa).....	64
Tabela 27 - Resistência à Compressão 28 dias (MPa)	65
Tabela 28 - Resistência do bloco em relação à área líquida.....	66
Tabela 29 - Limites de resistências para argamassas segundo a NBR 15961	67

Tabela 30 - Aderência Potencial no bloco (MPa)	69
Tabela 31 - Resistência ao Cisalhamento (MPa)	75
Tabela 32 - Resumo dos resultados.....	78
Tabela 33 - Fatores para avaliação pelo método da escala gráfica	79
Tabela 34 - Avaliação pelo método da escala gráfica	80

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Interação entre argamassa de assentamento e os blocos em uma alvenaria (adaptada de Gallegos, 1989).	25
Figura 2 - Classificação das areias quanto à distribuição granulométrica e sua influência na retração plástica.	28
Figura 3 - Alvenaria Estrutural não armada.....	31
Figura 4 - Alvenaria armada ou parcialmente armada	31
Figura 5 - Alvenaria protendida	32
Figura 6 - Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas das argamassas	34
Figura 7 - Parede com blocos amarrados	34
Figura 8 - Mecanismo de funcionamento dos aditivos plastificantes.....	38
Figura 9 - Fatores que exercem influência na aderência de argamassas sobre bases porosas	40
Figura 10 - Medições dos blocos ensaiados	46
Figura 11 - Esquema de dimensões dos blocos.....	46
Figura 12 - Espessura dos septos dos blocos a serem ensaiados (18 mm)	47
Figura 13 - Curva granulométrica e limites de distribuição.....	53
Figura 14 - Pesagem de água para argamassa industrializada	57
Figura 15 - Aditivo Plastificante	58
Figura 16 - Recipiente cilíndrico 400cm ³	59
Figura 17 - Ensaio de Índice de consistência.....	61
Figura 18 - Ensaio de retenção de água	62
Figura 19 - Temperatura e umidade.....	63
Figura 20 - Moldagem de corpos de prova.....	64
Figura 21 - Ruptura à tração na flexão(a), ruptura à compressão(b), corpos de prova rompidos(c)	64
Figura 22 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias.....	65
Figura 23 - Resistência à Compressão aos 28 dias	66
Figura 24 - Resistência à Compressão (28 dias) com limite normativo.....	67
Figura 25 - Blocos com argamassa.....	68
Figura 26 - Gabarito altura 1 cm.....	68
Figura 27 - Ensaio para determinação da resistência de aderência à tração.....	69
Figura 28 - Aderência Potencial das argamassas no bloco (MPa).....	70
Figura 29 - Superfície após o ensaio.....	70

Figura 30 - Fissuras nas argamassas	71
Figura 31 – Superfície das argamassas (escala 1:1): industrializada (a), 1:0,5:8 sem aditivo (b), 1:0,5:8 com aditivo(c), 1:0,5:9 sem aditivo(d), 1:0,5:9 com aditivo(e).....	71
Figura 32 - Fôrmas metálicas dimensões 5x5x4cm	72
Figura 33 - Desmoldante nas fôrmas metálicas	72
Figura 34 - Antes da limpeza.....	73
Figura 35 - Depois da limpeza.....	73
Figura 36 - Fôrmas coladas na pastilha e encapsulando o corpo de prova	73
Figura 37 - Conjunto acoplado no equipamento de ensaio de arrancamento	74
Figura 38 - Resistência ao Cisalhamento aos 28 dias	75
Figura 39 - Escala gráfica contínua.....	76
Figura 40 - Escala gráfica sem contínua	76
Figura 41 - Escala gráfica descontínua.....	77
Figura 42 - Avaliação pelo método da escala gráfica.....	80

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABESC: Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem

A.C.: Antes de Cristo

CP: Cimento Portland

E: Escória

h: hora

ISO: Organização Internacional de Normalização

IRS: taxa inicial de sucção de gua

UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais

m: massa

min: minutos

NM: Norma Regional (Mercosul)

NBR: Norma Brasileira

PF: Perda ao fogo

PUC: Pontifícia Universidade Católica

RI: Resíduo Insolúvel

RS: Rio Grande do Sul

Vv: Volume de vazios

LISTA DE SÍMBOLOS

P - micro

% - psi

% - por cento

A - teor de ar incorporado (%);

C-S-H - silicato de cálcio hidratado

°C - grau Celsius

&OæCloro

C₃A - aluminato tricálcico

Ca²⁺ - íon cálcio

CaO (livre) - óxido de cálcio livre

Ca(OH)₂ - hidróxido de cálcio

cm - centímetro

cm³ - centímetro cúbico

d - valor da densidade de massa da argamassa (g/cm³);

d_t - valor da densidade de massa teórica da argamassa (g/cm³);

dm³ - decímetro cúbico

f_{bk} - resistência característica

f_{bk,est} - resistência estimada da amostra

f_{bm} - resistência média dos blocos

g - grama

K - quilo

m² - metro quadrado

mm² - milímetro quadrado

MgO - Óxido de Magnésio

MPa - Mega Pascal

N - Newton

n^o - número

SO₃ - anidrido sulfúrico

SO₄⁻² - íon sulfato

XIX - dezenove (número romano)

XX - vinte (número romano)

Dedico esse trabalho a minha família,
que me apoiou, guiou e me ensinou
os maiores valores da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, pelas oportunidades, por me dar força e saúde de forma a possibilitar minhas conquistas.

Ao meu querido orientador, Antônio Neves de Carvalho Jr. pela dedicação, paciência, por ter me fornecido as ferramentas necessárias para concluir esse trabalho, mas agradeço principalmente, por não ter me deixado desistir.

Ao meu co-orientador, Eduardo Chahud por sempre saber o caminho a seguir, por eliminar o desnecessário, por ter ideias brilhantes e planos alternativos.

À CRH, pelo cimento, laboratório e disponibilidade da melhor equipe de trabalho que eu poderia ter: Stefane Vitorino, Vinícius de Souza Silva e Mário Henrique da Silva que viabilizaram a realização dos experimentos laboratoriais.

À MARTINS LANNA pela doação agregado miúdo.

À BP REPRESENTAÇÕES pela doação de cal hidratada utilizada nos traços dosados em obra.

À CONSTRUCOM ARTEFATOS DE CIMENTO pelos blocos de concreto doados aos ensaios e à UFMG.

Agradeço a Artes Construtora e principalmente ao Aguinaldo Eustáquio Coelho pela transferência dos blocos da UFMG para a CRH, em Matozinhos, onde a maior parte dos experimentos foi realizada.

Aos funcionários do laboratório de materiais de construção da UFMG, em especial, ao Ricardo Antônio Barbosa pelo auxílio nos pré-testes.

Agradeço ao meu pai, Francisco, meu exemplo de sabedoria e profissionalismo. Como grande defensor da alvenaria estrutural me inspirou, auxiliou e forneceu muitas das minhas fontes bibliográficas.

Agradeço a minha mãe, Lenice pelo incentivo constante ao estudo, pelas sugestões dadas e erros corrigidos. Por vibrar até com minhas pequenas conquistas e me proporcionar uma base sólida para enfrentar os desafios da vida.

Agradeço a minha irmã, Marília, por transcender sua área para me ajudar. Por todas as correções em cada trabalho, cada estudo e cada momento da minha vida. Por pressionar e não me deixar desistir. Agradeço pelo auxílio, pelo exemplo e pela amizade.

Ao meu sobrinho Marco Antônio, aos meus amigos e ao meu cachorro Bono agradeço pelo descanso, por me desligarem dos termos técnicos e dos livros.

À Rute Maria de Paula Martins que, por meio de seus conhecimentos na área, e experiência em trabalhos acadêmicos me auxiliou na revisão do trabalho e na confecção do artigo.

Agradeço ainda, aos meus colegas de mestrado, que fizeram parte dessa jornada e tornaram os estudos mais dinâmicos e agradáveis.

³Live as if you were to die tomorrow.

Learn as if you were to live forever´

Mahatma Gandhi

RESUMO

O presente estudo propõe encontrar a argamassa que promova o melhor desempenho num sistema em alvenaria estrutural de blocos de concreto. Comparou-se argamassas industrializadas, argamassas dosadas em obra sem aditivo e argamassas dosadas em obras com aditivos. Realizou-se ensaios no estado fresco e no estado endurecido (normatizados e não normatizados). Para análise da aderência as normas existentes não previam a situação de arrancamento de acordo com os esforços existentes na alvenaria estrutural impossibilitando a avaliação. Adaptou-se assim o ensaio de aderência potencial à tração e criou-se um ensaio para resistência ao cisalhamento. Além disso, considerando tratar-se de estudo de aplicação prática, foram verificados os parâmetros normativos que delimitam os ensaios de resistência mecânica (compressão), que, no caso dos blocos ensaiados o limite é 8,3 MPa. Percebeu-se assim, que os traços 1:0,5:6 e 1:0,5:8 dosados em obra com e sem aditivos não são aplicáveis para os blocos utilizados. A avaliação das argamassas, com resistência à compressão inferior ao limite imposto pela norma, deu-se pelo método da escala gráfica e a que obteve melhor desempenho foi a argamassa dosada em obra sem aditivo plastificante com traço 1:0,5:9 para emprego em alvenarias estruturais compostas por blocos de concreto com resistência à compressão estimada (em relação à área líquida) de 9,9MPa.

Palavras-chave: argamassa, alvenaria estrutural, desempenho.

ABSTRACT

The present study proposes to find the mortar that promotes the best performance in a structural masonry of concrete blocks. It was compared industrialized mortars, mortars dosed on site without additive and mortars dosed on site with additives. Tests were performed in fresh and hardened state (standardized and non-standardized). For the adherence analysis the existing standards did not predict the pullout situation according to the efforts in the structural masonry, making it impossible to evaluate. The potential adherence test was adapted and a test for shear strength was created. In addition, considering that this is study with a practical application, the normative parameters limiting the mechanical strength tests (compression) for mortars were verified, which, in the case of the blocks tested, is 8,3 MPa. Thus it was realized that the dosages on site 1:0,5:6 and 1:0,5:9 with and without additives were not applicable for the tested blocks. The evaluation of the mortars, with compressive strength lower than the limit imposed by the standard, by the graph scale method, the one that obtained the best performance was the mortar measured on site without plasticizer additive with 1:0,5:9 dosage for use in structural masonry composed of concrete blocks with estimated compressive strength (in relation to the net area) of 9,9MPa.

Key words: mortar, structural masonry, performance.

1 INTRODUÇÃO

A definição do sistema construtivo mais adequado a um empreendimento depende de diversos fatores. No caso do Brasil, predominantemente, o que mais influencia essa decisão é o custo.

Objetivando a redução do valor final das construções, várias ferramentas gerenciais vêm sendo utilizadas, dentre elas a racionalização. Esse processo busca otimizar recursos de forma a diminuir os custos. Nesse contexto, a alvenaria estrutural teve seu uso impulsionado, visto ser um sistema construtivo modular, capaz de eliminar etapas – funciona como vedação e estrutura – e, demandar pouco treinamento para sua mão-de-obra.

A busca por qualificar e padronizar a execução da alvenaria estrutural decorreu do incremento de utilização. Surgiram assim, estudos, pesquisas e normas técnicas a respeito do tema.

Para que os elementos das alvenarias trabalhem como um conjunto, premissa do sistema construtivo, deve-se garantir a interação entre a argamassa e os blocos de concreto.

2 OBJETIVO

Essa pesquisa tem como objetivo analisar, comparar o desempenho das argamassas de assentamento industrializadas e dosada em obra (com e sem aditivo) e encontrar a argamassa mais aplicável à alvenaria estrutural e ao ambiente construtivo de maneira a melhorar o desempenho em alvenaria estrutural composta por blocos de concreto.

3 JUSTIFICATIVA

A alvenaria estrutural é um modelo construtivo que dispensa ou minimiza o uso de vigas e pilares convencionais, sendo composto, principalmente, por blocos, argamassa, graute e armação. Em função do seu caráter não apenas de vedação como também de estrutura, deve-se efetuar um controle rigoroso da execução. Para isso é indispensável o cumprimento das determinações normativas, orientações de projeto e planejamento para execução das etapas.

O sistema construtivo em alvenaria estrutural busca obter o melhor aproveitamento das propriedades de seus constituintes. Deve-se garantir assim, não apenas a qualidade dos blocos, como também o desempenho das argamassas de assentamento e da aderência entre eles.

Esse estudo busca comparar diversos tipos de argamassas e estabelecer parâmetros comparativos entre as mesmas para encontrar a mais adequada ao uso em alvenaria estrutural de blocos de concreto, de forma a melhorar a execução, o funcionamento e evitar o surgimento de manifestação patológica.

Além da análise específica da aderência serão estudados os materiais constitutivos das argamassas, bem como as características específicas dos mesmos. A granulometria dos agregados e a verificação da resistência mecânica dos blocos de concretos serão preliminares à realização dos experimentos, sendo considerada premissa a qualidade dos materiais que compõem a alvenaria estrutural.

Isto posto, torna-se indispensável um estudo para dosagem das argamassas e seleção de aditivos. É necessária ainda, desenvolver uma metodologia adequada para análise do desempenho da argamassa de assentamento dos blocos das alvenarias.

Ressalta-se ainda, que além da realização dos habituais ensaios para obtenção da massa específica, consistência, teor de ar incorporado, retenção de água, resistências à tração e flexão, esse estudo incorpora também análises de imagens, adaptação de ensaios normatizados e execução de ensaios não normatizados para avaliação da aderência, indispensáveis para uma análise do desempenho, objetivo principal do trabalho.

4 METODOLOGIA

4.1 Planejamento e determinação do estudo

Para viabilizar a comparação entre argamassa industrializada, dosada em obra sem aditivo e dosada em obra com aditivo, e encontrar a mais aplicável à alvenaria estrutural, nessa fase inicial, buscou-se definir as etapas do projeto e prazos necessários à execução. Além disso, determinou-se os ensaios e o foco da revisão bibliográfica necessária ao estudo.

4.2 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica fornece o embasamento teórico dos ensaios realizados. Julgou-se necessário aprofundar os estudos nas argamassas, na alvenaria estrutural, nos aditivos e na aderência.

4.3 Determinação dos traços das argamassas

No caso da argamassa industrializada foram seguidas as orientações do fabricante. Entretanto, para as argamassas dosadas em obra, o traço baseou-se na revisão bibliográfica e pesquisa de mercado. Além disso, a argamassa com aditivo utilizou o mesmo traço da argamassa dosada em obra sem aditivo, respeitando as orientações do fabricante. A partir das limitações normativas de resistência à compressão determinou-se traços alternativos para realização dos ensaios.

4.4 Especificação dos materiais

Nesta etapa foram definidos os materiais necessários para realização dos três tipos de argamassas a serem ensaiadas, bem como o bloco a ser analisado. Em seguida, foram calculados quantitativos para execução dos ensaios, considerando perda e possivelmente repetição dos procedimentos caso os resultados encontrados não atendessem às instruções normativas.

4.5 Parte experimental

4.5.1 *Caracterização dos materiais*

Os blocos de concreto foram caracterizados segundo a ABNT NBR 6136:2016 *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria* ² *Requisitos* quanto às dimensões, classe, resistência característica à compressão, absorção e retração.

O Agregado miúdo – areia artificial foi caracterizado segundo a ABNT NBR 7211:2009 *Agregados para concreto* ² *Especificação* quanto à granulometria e em seguida foram obtidos o módulo de finura e a dimensão máxima característica.

O cimento utilizado foi caracterizado pela empresa fornecedora conforme preconiza a ABNT e a partir dos dados obtidos verificou-se a aplicabilidade.

4.5.2 *Ensaio em argamassas*

Para os três tipos de argamassas: industrializada, moldada em obra sem aditivo e moldada em obra com aditivo, foram realizados os ensaios de densidade de massa e ar incorporado baseados na norma ABNT NBR 13278:2005 - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado*. Seguidos pelos ensaios de índice de consistência preconizado pela ABNT NBR 13276:2005 - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência*. Além dos ensaios de retenção de água (NBR 13277:2005) e ensaios de resistência à tração e à compressão (NBR 13279:2005).

4.5.3 *Ensaio no conjunto argamassa/bloco*

Para análise do desempenho do conjunto argamassa/bloco, foco do estudo não existe instrução normativa específica na ABNT, dessa forma, adaptou-se o ensaio de determinação de aderência à tração e, além disso, formulou-se um novo ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento.

4.6 Análise dos resultados e conclusão

Em posse dos resultados de ensaios para os três tipos de argamassas de assentamento que atendessem às prescrições normativas e da revisão bibliográfica foi realizada a análise dos resultados. Finalmente, verificou-se qual argamassa possuía melhor aderência nas condições ensaiadas.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Argamassa

5.1.1 Definição

A ABNT NBR 13529:2013 define as argamassas como misturas de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento.

Todavia Carasek (2010, p.893) complementa que 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. Acrescenta ainda que quando classificadas quanto às suas funções tem-se:

Tabela 1 - Classificação das argamassas segundo as suas funções

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) - alv. de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contra piso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: Carasek (2010).

5.1.2 Argamassa de assentamento de blocos

O tipo de argamassa a ser utilizada pode ser conforme a finalidade da alvenaria, baseado no tipo de elemento a ser assentado ou em normas construtivas ou, ainda, de acordo com os esforços a serem suportados pela alvenaria. Assim, um elemento

de alvenaria com alta velocidade inicial de absorção de água deverá ser compatível com a argamassa de alta retenção de água. (FIORITO 1994, p.38)

As principais funções das juntas de argamassa na alvenaria de acordo com Carasek (2010, p.904):

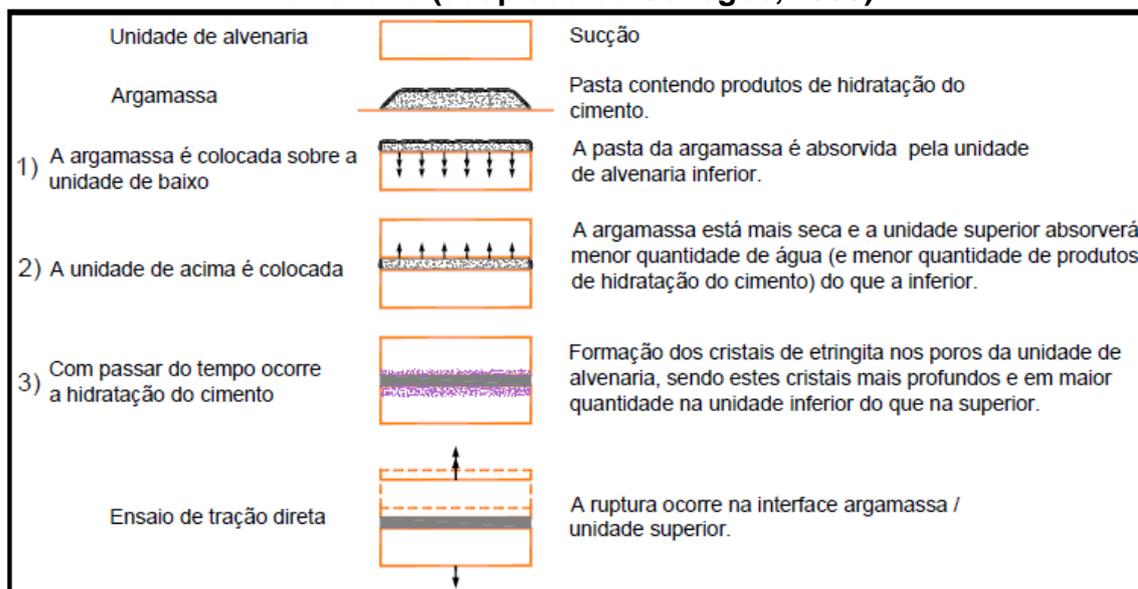
- unir as unidades de alvenaria de forma a constituir um elemento monolítico, contribuindo na resistência aos esforços laterais;
- distribuir uniformemente as cargas atuantes na parede por toda a área resistente dos blocos;
- selar as juntas garantindo a estanqueidade da parede à penetração de água das chuvas;
- absorver as deformações naturais, como as de origem térmica e as de retração por secagem (origem higroscópica), a que a alvenaria estiver sujeita.

Coloca ainda como requisitos e propriedades para essas argamassas:

- trabalhabilidade – consistência e plasticidade adequadas ao processo de execução, além de uma elevada retenção de água;
- aderência;
- resistência mecânica
- capacidade de absorver deformações.

A interação entre a argamassa de assentamento e os blocos de uma alvenaria está representada pela figura 1.

Figura 1 - Interação entre argamassa de assentamento e os blocos em uma alvenaria (adaptada de Gallegos, 1989).



Fonte: Carasek (2010).

5.1.3 Cal em argamassas

Segundo Guimarães (2002, p.251) a adição de cal hidratada às argamassas deflagra uma série de consequências favoráveis ao seu uso como material de construção. A alcalinidade (pH maior que 11,5) torna o meio ambiente mais asséptico e assim desfavorável à proliferação de insetos vetores de doenças. A cor branca clareia as misturas tornando-as de tonalidade mais neutra e mais reflexiva aos raios solares (menor transmissão de calor). O alto ponto de fusão dos óxidos de cálcio (2560°C) e de magnésio (2800°C) auxilia a “resistência ao fogo de paredes” de argamassas com cal. O pequeno teor de álcalis ocasiona sensível redução das “eflorescências”.

A cal tem capacidade de transmitir às argamassas uma resistência maior à penetração de água. As partículas de cal hidratada possuem diâmetro menor, penetrando e obstruindo as fendas mais estreitas. Além disso, absorvem um filme de água ao seu redor – quer pela alta tensão superficial (entre o Ca(OH)_2 e a solução saturada no local), quer por exibir certo grau de cataforese -, estreitam mais as passagens e detêm mais as águas circulantes.

Dentre as melhorias Guimarães (2002, p.253) ressalta:

- maior retenção de água com acréscimo da cal, pois ela possui cristalitos muito pequenos e com capacidade de reter em sua volta uma película líquida de água firmemente aderida. Como consequência permite reduzir a perda de água para elementos construtivos vizinhos com alta porosidade;
- melhor trabalhabilidade das argamassas;
- maior recuperação de sobras de aplicação,
- melhor absorção dos acomodamentos iniciais das estruturas, em função da maior flexibilidade das ligações;
- melhor estocagem da água necessária ao desenvolvimento das reações que provocam o aparecimento de constituintes cimentantes.

Todavia, segundo Silva e Campiteli (2006, p.6) as argamassas produzidas com cal apresentaram menores resistências à compressão que as argamassas de cimento e areia (sem cal), devido ao menor teor de cimento.

Importante ressaltar que as argamassas que possuem dois tipos de aglomerante: cal e cimento Portland, recebem nomenclatura específica de acordo com a ABNT NBR 13529:2013, são denominadas assim argamassas mistas.

5.1.4 Ensaios de densidade de massa e ar incorporado

De acordo com Carasek (2010, p.912), a densidade de massa, também denominada massa específica varia com o teor de ar (principalmente se for incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente o agregado.

5.1.5 Ensaio de retenção de água

Segundo Maciel, Barros e Sabbatini (1998, p.4), a retenção de água representa a capacidade de a argamassa reter a água de amassamento contra a sucção da base ou contra a evaporação, ela permite que as reações de endurecimento da argamassa se tornem mais gradativa, promovendo a adequada hidratação do cimento e consequente ganho de resistência. Como consequência de uma rápida

perda de água, ocorre comprometimento à aderência, a capacidade de absorver deformações, a resistência mecânica e, com isso, a durabilidade e a estanqueidade do revestimento e da vedação ficam comprometidas.

O estudo de Carasek e Djanikian (1997, p. 6) acrescenta que os blocos de concreto possuem alta taxa inicial de sucção quando comparado a outros substratos, conforme demonstra a tabela 2.

Tabela 2 - Resultados do ensaio de determinação da taxa inicial de sucção de água (IRS), em g/200cm²/min, segundo o método de RILEM - LUM.A.5 (1988), dos substratos em estudo.

Substrato	N	Média g/200cm ² /min	D.P. g/200cm ² /min	C.V. %	Distr. Normal	Valores Espúrios
Bloco Concreto	55	53	6,01	11	Sim	1
Cerâmico S	60	12	1,92	15	Não	1
Cerâmico T	108	14	1,86	13	Não	2
Concreto Celular	70	70	29,69	42	Sim	-
Sílico Calcário	110	47	20	43	Não	2
Concreto Leve	45	65	15,75	24	Sim	-

obs.: n = tamanho da amostra, D.P. = desvio padrão, C.V. = coeficiente de variação
Fonte: Carasek e Djanikian (1997).

5.1.6 Resistência à compressão das argamassas

Segundo Ramalho e Corrêa (2003, p.76) a resistência à compressão das argamassas utilizadas na alvenaria estrutural não é um parâmetro que influencia significativamente na resistência à compressão da parede. Apenas no caso de valores inferiores a 30% ou 40% esse fator torna-se importante. Inclusive, argamassas exageradamente resistentes podem apresentar um efeito contrário ao desejado, reduzindo a resistência final da parede. Afirma ainda que argamassas com resistência em torno de 50% da resistência dos blocos dificilmente ocasionarão queda significativa na resistência da parede.

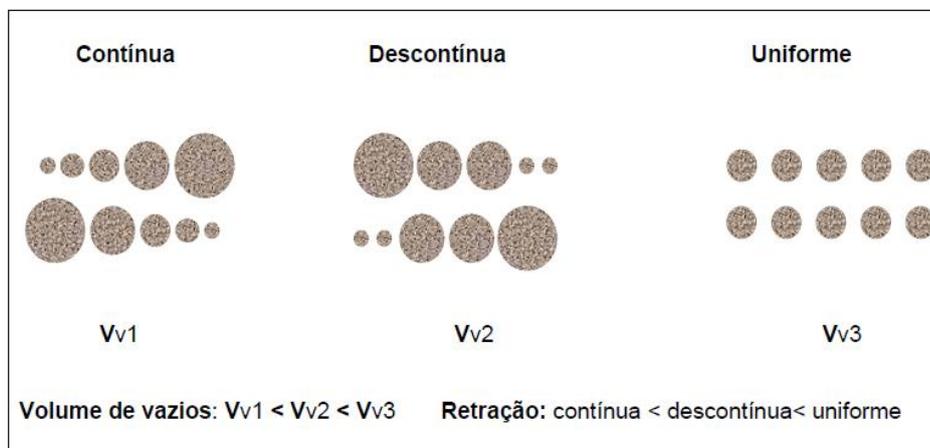
Acrescenta-se ainda que de acordo com a ABNT NBR 15961-1:2011 - Alvenaria estrutural - Blocos de concreto – parte 1: projeto – que as argamassas para assentamento de blocos em alvenaria estrutural devem possuir resistência à

compressão inferior a 70% da resistência característica especificada para bloco, referida área líquida.

5.1.7 Retração em argamassas

Carasek (2010, p.914) explica que a retração é consequência das reações químicas de hidratação do cimento e principalmente devido à secagem. Além disso, quando as argamassas de assentamento de alvenaria retraem pode chegar a desprender-se da superfície com a qual tinha menor aderência e diminuir a resistência da parede, além de constituir um caminho para entrada da água de chuva. Em relação aos materiais constituintes a autora coloca que argamassas muito ricas em cimento sofrem influencia da retração, estando mais sujeitas as tensões de tração que causarão fissuras. A granulometria da areia determina o volume a ser preenchido pela pasta de aglomerante, sendo que quanto maior o volume maior o potencial de retração (ver figura 2).

Figura 2 - Classificação das areias quanto à distribuição granulométrica e sua influência na retração plástica.



Fonte: Carasek (2010).

5.2 Alvenaria Estrutural

Camacho (2006, p.5) aponta que a alvenaria estrutural é usada pelo homem desde que se iniciaram as construções utilizando blocos de diversos materiais, como argila, pedra e outros. Assim, foi um dos primeiros métodos construtivos adotados pelo homem, desde os Persas e Assírias, 10 000 A.C..

Os primeiros usos da alvenaria estrutural no Brasil remonta o período colonial por meio da taipa, o pau-a-pique, cantaria ou barro cozido. Técnicas rudimentares em que paredes tinham função estrutural, por isso a analogia com a alvenaria estrutural. A taipa consiste em solo misturado com materiais como cal, sangue de boi, palha e outros materiais grosseiros, usados para dar maior trabalhabilidade. Já o pau-a-pique se diferia da taipa por usar o barro como vedação assentado sobre uma armação de madeira e recebendo posterior acabamento. Esse método é mais prático que a taipa por não demandar compactação do solo. A cantaria consiste na construção em blocos de pedra conformados e assentados peça por peça, porém, em função do peso dos blocos, mostrava-se pouco produtivo e oneroso, já que os blocos eram conformados de forma artesanal.

Entre os séculos XIX e XX, as técnicas de projeto ainda não haviam evoluído do mesmo modo que os materiais, assim para edifícios com maior número de pavimentos esse modelo construtivo tornou-se oneroso, além da perda significativa de área útil que sua utilização demandava, pois para grandes solicitações eram necessárias grandes espessuras de alvenarias. Pela baixa competitividade, se comparadas com construções projetadas e construídas com concreto armado, o uso da alvenaria estrutural só foi retomado após a segunda guerra mundial quando houve carência de aço e outros insumos da construção civil, indispensáveis para o uso do concreto armado.

A alvenaria estrutural moderna teve influência da revolução industrial que concebeu conceitos até então novos como modulação, racionalização e produção em série, o que enseja economia de tempo, de material e de mão de obra (TAUIL e NESE, 2010, p 19).

Segundo Randall Jr. e Panarese (1976, p.71) o projeto de uma alvenaria de blocos de concreto deve considerar ainda o arranjo dos componentes, o plano modular, as previsões de controle das fissuras e uma resistência ao tempo. Todos esses fatores demandam um planejamento cuidadoso para que as alvenarias atendam o propósito pretendido.

Lourenço (2002, p.81) entende que essa alvenaria resistente deve ser encarada não apenas como um material estrutural, mas como uma solução construtiva que contempla os aspectos estruturais, estéticos, acústicos, térmicos, de resistência ao fogo e de impermeabilização. Coloca ainda que a consideração simultânea dos aspectos estruturais, construtivos e estéticos implica interação efetiva entre dono-de-obra, arquiteto e engenheiro.

5.2.1 Conceito

A alvenaria, como processo construtivo na elaboração de estrutura, desenvolveu-se inicialmente do empilhamento puro e simples de tijolos e blocos. Geralmente, não se utilizam pilares e vigas, pois as paredes possuem também a função de distribuir as cargas uniformemente ao longo das fundações. (RAMALHO e CORRÊA, 2003, p.1).

Dessa forma, a alvenaria estrutural é definida por Kalil (2010, p.3) como:

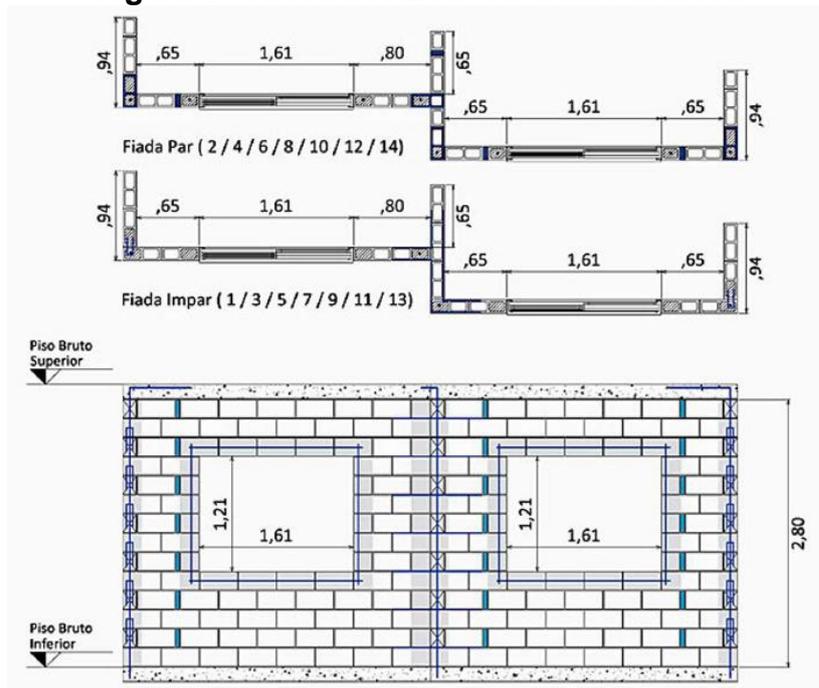
um sistema construtivo que utiliza peças industrializadas de dimensões e peso que as fazem manuseáveis, ligadas por argamassa, tornando o conjunto monolítico. Estas peças industrializadas podem ser moldadas em: cerâmica, concreto e sílico-calcáreo.

5.2.2 Tipos de Alvenaria Estrutural

Segundo Tauil e Nese (2010, p.20), as alvenarias estruturais podem ser divididas em três tipos:

Alvenaria não armada: recebem graute e armação apenas como reforço estrutural e tem a função apenas de evitar futuras patologias, como em vergas de portas, vergas e contravergas de janelas e reforços em aberturas, conforme figura 3:

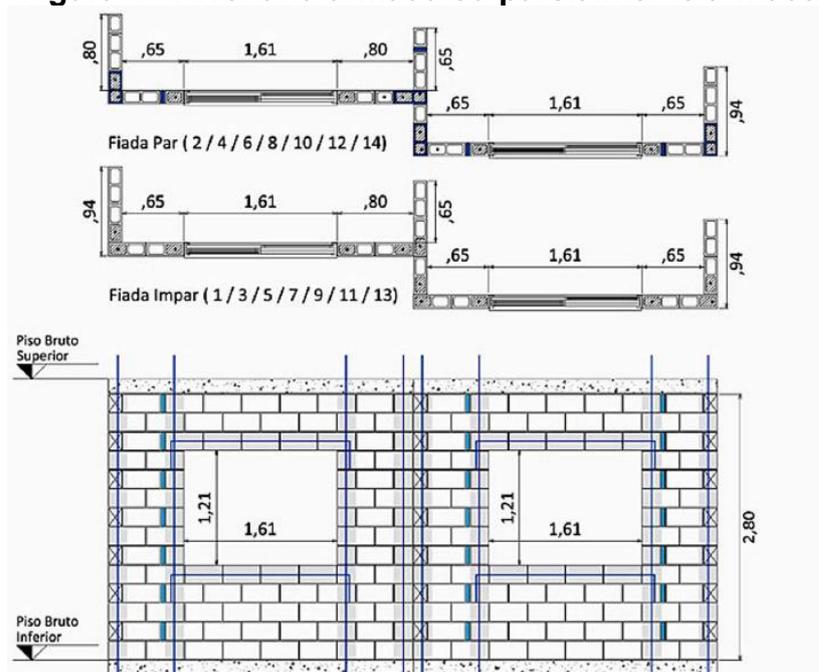
Figura 3 - Alvenaria Estrutural não armada



Fonte: Tauil e Nese (2010).

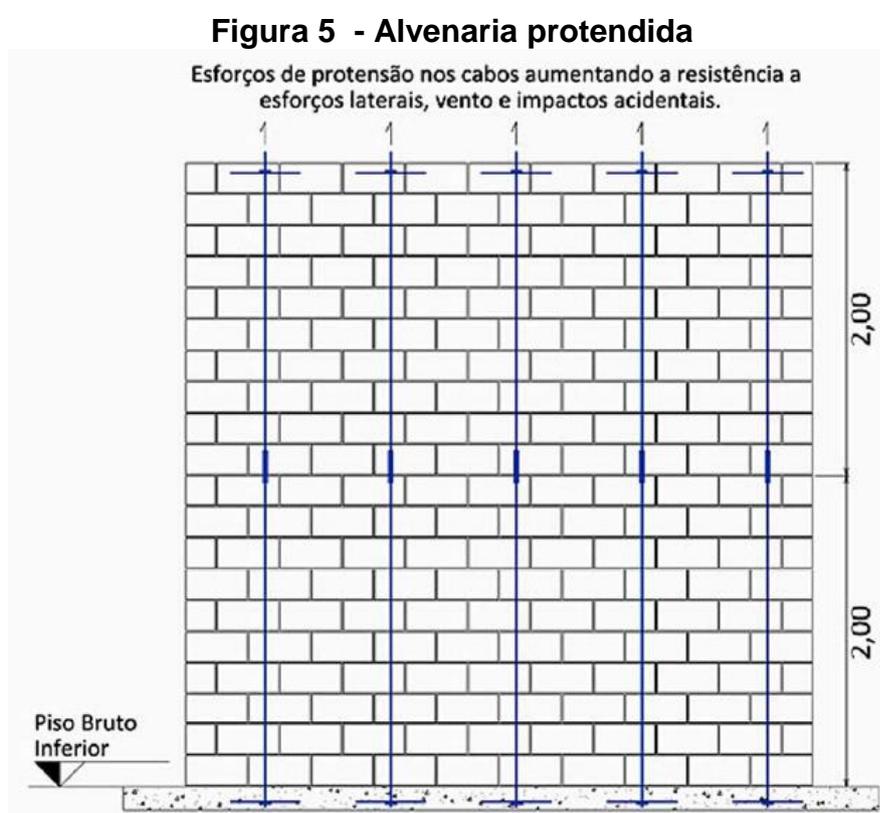
Alvenarias armadas ou parcialmente armadas: possuem algum reforço, segundo as exigências estruturais. Esse ocorrerá por meio de fios, barras e telas introduzidos nos blocos, que posteriormente deverão ser grauteados, como pode ser percebido na figura 4.

Figura 4 - Alvenaria armada ou parcialmente armada



Fonte: Tauil e Nese (2010).

Alvenaria protendida (figura 5): possui armadura pré-tensionada que submete a alvenaria a esforços de compressão. Para executá-la deve-se primeiramente fixar a espera da barra ou cabo de protensão nas fundações, levantar a parede encaixando os furos dos blocos na barra, realizar furos necessários nos blocos canaleta, conectar e proteger os trechos de emenda, seguir dessa forma até a última fiada, após 14 dias de execução da alvenaria e com as barras já engraxadas deve-se aplicar a protensão com um torquímetro, por último é feita a medição e grauteamento. Ressalta-se, no entanto, que como o custo desse tipo de alvenaria é muito elevado ela é pouco utilizada.



Fonte: Tauil e Nese (2010).

5.2.3 Classificação das unidades componentes da Alvenaria Estrutural

Segundo Ramalho e Corrêa (2003, p.6) os principais componentes da alvenaria estrutural são: blocos ou unidades, graute e armadura.

As unidades mais utilizadas no Brasil são em concreto, cerâmicas e sílico-calcárias. Podem ser classificadas quanto à forma: maciça (tijolos) ou vazadas (blocos). São

maciças as unidades que possuem índices de vazios de no máximo 25% da área total, caso excedido esse limite são vazadas.

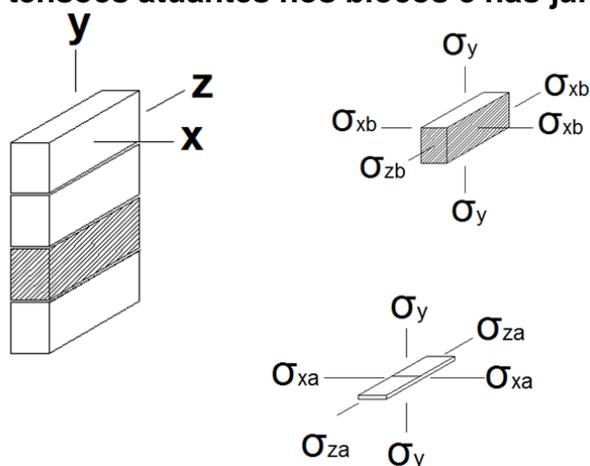
Classificam-se ainda as unidades em relação às resistências mínimas a serem resistidas à compressão pelos blocos em relação à área bruta. Na NBR 6136:2016 tem-se o $f_{bk} > 6$ MPa para blocos em paredes externas sem revestimento e $f_{bk} > 4,5$ MPa para blocos em paredes internas ou externas com revestimento. Contudo, a NBR 7171:1992 determina que para os blocos estruturais cerâmicos a resistência mínima deve ser de 4 MPa.

5.2.4 Estado de tensões

O princípio básico da alvenaria estrutural é a transmissão de esforços através de tensões de compressão. Evidentemente podem-se admitir tensões de tração em determinadas peças, porém, devem ser restritas a pontos específicos e não devem possuir valores muito elevados. Caso a tração ocorra de forma generalizada ou com valores elevados a estrutura pode ser viável, porém economicamente inadequada, segundo Ramalho e Corrêa (2003, p1).

Francis *et al.* (1971) *apud* Ramalho e Corrêa (2008, p.81) elaboraram modelos matemáticos considerando o comportamento elástico dos componentes tijolo e argamassa e desenvolveram um modelo teórico para a ruptura de prismas de alvenaria submetidos a esforços de compressão axial. Devido deformação excessiva da argamassa supuseram ainda a ocorrência de esforços de tração nos tijolos (figura 6). A existência de diferentes módulos de elasticidade usados para a execução dos prismas explica essa ocorrência. Esse modelo foi estudado para prismas e foram admitidos os equilíbrios de forças de tração lateral nas unidades e de compressão lateral nas argamassas, ou seja, a compatibilidade das deformações laterais nas unidades e na junta de argamassa.

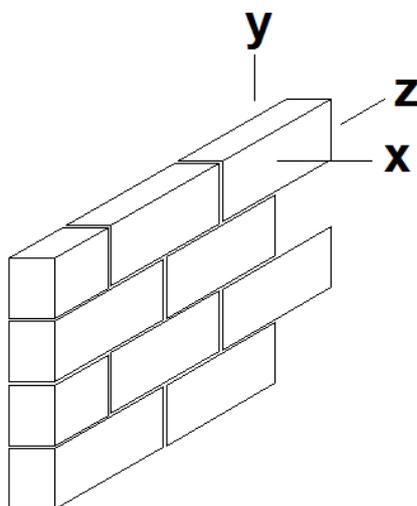
Figura 6 - Estado de tensões atuantes nos blocos e nas juntas das argamassas



Fonte: Ramalho e Corrêa (2003).

Porém, posteriormente foram verificadas grandes variações entre os valores teóricos e os experimentais, além disso, questiona-se a utilização para a obtenção da tensão de ruptura de paredes com blocos amarrados (figura 7), uma vez que toda a sua formulação foi feita para prismas.

Figura 7 - Parede com blocos amarrados



Fonte: A autora (2018).

5.3 Aditivos

5.3.1 Definição

Segundo a ASTM C 125 *apud* Mehta e Monteiro (2014, p.305) aditivo/adição referem-se a qualquer material, exceto água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras, usado como componente do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura.

Mlinárik e Kopecskó (2013, p.100) acrescentam que o uso de aditivos através da atividade hidráulica ou pozolânica contribuem com as propriedades no estado fresco e endurecido.

Por vezes é necessário distinguir os aditivos das adições. De acordo com Carvalho Júnior (2005, p.16), adições são materiais finamente divididos, com capacidade de conferir algumas propriedades à argamassa. Na maioria das vezes, não possuem poder aglomerante, atuando como agregados, e, de modo geral, possuem poder aglutinante (promovem a liga).

Coutinho (1997, p.311) *apud* Carvalho Júnior (2005, p.18) acrescenta que os aditivos são substâncias utilizadas em porcentagem inferior a 5% da massa do cimento, adicionada durante a mistura aos componentes normais das argamassas e dos concretos, com o fim de modificar certas propriedades destes materiais, quer no estado fresco, quer no estado sólido, quer ainda no momento da passagem de um estado para o outro.

É ressaltado ainda no Manual do concreto dosado em central, elaborado pela ABESC, que ao contrário do que se pensa, os aditivos são bastante antigos. Já eram utilizados pelos romanos muito antes da existência do concreto de cimento Portland. Naquela época, eles usavam clara de ovo, sangue de animal e outros ingredientes como aditivos.

5.3.2 Tipos de Aditivos

De acordo com a ABNT NBR 11768:2011 os aditivos recebem a seguinte classificação:

Tipo P – Plastificante;

Tipo R – Retardador;

Tipo A – Acelerador;

Tipo PR – Plastificante Retardador;

Tipo PA – Plastificante Acelerador;

Tipo IAR – Incorporador de Ar;

Tipo SP – Superplastificante;

Tipo SPR – Superplastificante Retardador;

Tipo SPA – Superplastificante Acelerador;

Os principais aditivos utilizados no Brasil segundo o Manual do concreto dosado em central são: retardadores, incorporadores de ar, plastificantes, superplastificantes (e seus derivados, como plastificantes aceleradores e plastificantes retardadores) e aceleradores, tabela 3.

Tabela 3 - Aditivos: usos

ADITIVOS				
USOS				
TIPOS	EFEITOS	VANTAGENS	DESVANTAGENS	EFEITOS NA MISTURA
Plastificantes (P)	aumenta o índice de consistência	maior trabalhabilidade para determinada resistência	retardamento do início de pega para dosagens elevadas do aditivo	efeitos significativos da mistura nos três casos (uso) citados.
	possibilita redução de no mínimo 6% da água de amassamento	maior resistência para determinada trabalhabilidade	riscos de segregação	
		menor consumo de cimento para determinada trabalhabilidade e resistência	enrijecimento prematuro em determinadas condições	
Retardadores (R)	aumenta o tempo de início de pega	mantém trabalhabilidade a temperaturas elevadas	pode promover exsudação	retardamento do tempo de pega
		retarda a elevação do calor de hidratação	pode aumentar a retração plástica do concreto	
		amplia os tempos de aplicação		
Aceleradores (A)	pega mais rápida	concreto projetado	possível fissuração devido ao calor de hidratação	acelera o tempo de pega e a resistência inicial
	resistência inicial mais elevada	ganho de resistência em baixas temperaturas	risco de corrosão de armaduras (cloretos)	
		redução do tempo de desforma		
		Reparos		
Plastificantes e Aceleradores: (PA)	efeito combinado de (P) e (A)	reduz a água e permite ganho mais rápido de resistência	riscos de corrosão de armadura (cloretos)	efeitos iniciais significativos. Reduz os tempos de início e fim de pega
Plastificante e Retardador: (PR)	efeito combinado de (P) e (R)	em climas quentes diminui a perda de consistência	aumento da exsudação e retração plástica	efeitos iniciais significativos.
			Segregação	Reduz a perda de consistência
Incorporadores de ar: (IAR)	incorpora pequenas bolhas de ar no concreto	aumenta a durabilidade ao congelamento do concreto sem elevar o consumo de cimento e o conseqüente aumento do calor de hidratação	necessita de controle cuidadoso da porcentagem de ar incorporado e do tempo de mistura	efeitos iniciais significativos
		reduz o teor de água e a permeabilidade do concreto	o aumento da trabalhabilidade pode ser inaceitável	
		bom desempenho em concretos de baixo consumo de cimento		
Superplastificantes: (SP)	elevado aumento do índice de consistência possibilita redução de, no mínimo, 12% da água de amassamento.	tanto como eficiente redutor de água como na execução de concretos fluidos (auto adensáveis)	riscos de segregação da mistura	efeitos iniciais significativos
			duração do efeito fluidificante	
			pode elevar a perda de consistência	

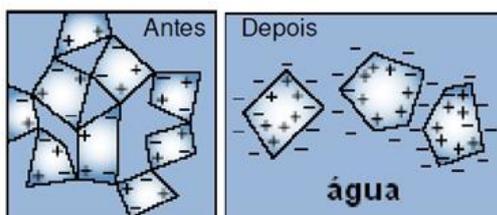
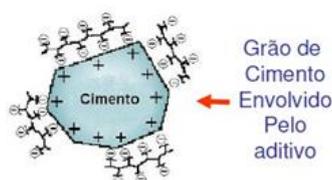
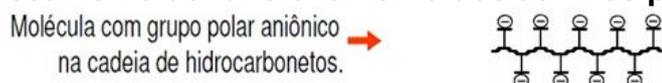
Fonte: ABESC (2007).

5.3.3 Aditivos Plastificantes

Segundo Carvalho Filho (2013, p.3) os aditivos plastificantes, também conhecidos com redutores de água, objetivam reduzir a quantidade de água de amassamento - em torno de 5 e 10% com a finalidade de diminuir o fator água/cimento, mantendo a trabalhabilidade desejada, ou até mesmo aumentar a trabalhabilidade com um mesmo fator água/cimento.

É explicado por esse autor o mecanismo de ação: a presença de moléculas com extremidades laterais com cargas negativas, dessa forma, um dos lados adere aos grãos de cimento (superfície positiva), e outro lado com carga negativa fica exposto. Assim, a repulsão eletrostática entre as cargas negativas afasta os grãos de cimento coberto pelo aditivo facilitando a trabalhabilidade (figura 8).

Figura 8 - Mecanismo de funcionamento dos aditivos plastificantes



Fonte: Carvalho Filho (2013).

Carvalho Filho (2013, p.3) ainda ressalta que com uma dosagem elevada do aditivo há um retardo de pega na pasta. Além disso, o período de eficiência dos aditivos plastificantes depende da: quantidade aplicada (0,2 a 0,6% do peso de cimento), temperatura ambiente (maior temperatura diminui o tempo), finura do cimento (mais fino, menor período) e a trabalhabilidade sendo que normalmente aditivos do tipo P estão em torno de 2 a 4 horas.

5.4 Aderência

5.4.1 Definição

A ABNT NBR 13528:2010 define aderência como propriedade do revestimento de resistir a tensões normais ou tangenciais atuantes na interface dos substratos.

De forma mais aprofundada, Santos (2015, p.2) acrescenta que a aderência é a resistência de arrancamento da argamassa no estado endurecido, o qual é um fenômeno de contato entre as superfícies, proveniente das interações químicas e mecânicas que ocorrem na interface entre estas camadas.

5.4.2 Fatores que interferem na aderência

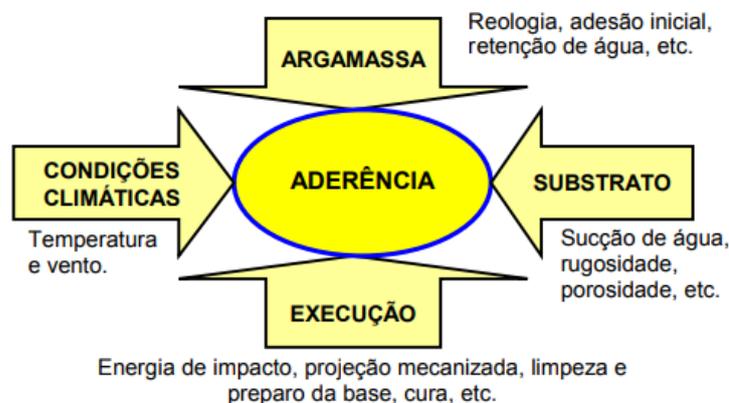
Dentre os vários fatores que interferem na resistência final da aderência, Santos (2015, p.2) enumera as características da argamassa, da base, do substrato e até mesmo o modo de execução do revestimento. Uma dessas características é a porosidade que pode influenciar no transporte de água (argamassa no estado fresco) nos instantes após aplicação. Interfere também a rugosidade da superfície do substrato que são pontos onde haverá ancoragem da camada de argamassa aplicada. Superfícies rugosas têm uma maior área de contato com a argamassa, resultando teoricamente, em uma resistência de aderência maior. Substratos cujas superfícies são mais lisas e fechadas tendem a apresentar valores de aderência menores. Além dessas características, a capacidade de sucção de água do substrato promove um caminho fácil de transporte dos compostos encontrados para hidratação do cimento, dessa forma, uma capacidade de sucção representa, teoricamente, valores baixos de aderência com o revestimento.

É acrescentado por Carasek, Cascudo e Scartezini (2001) *apud* Santos (2008, p.2) os fenômenos de micro aderência, que se caracterizam pelo preenchimento dos poros do substrato através da absorção da pasta de argamassa, resultando em uma fixação mecânica entre estes dois elementos; e da macro aderência que resulta no enchimento das saliências da rugosidade da superfície da base com a porção de argamassa, garantindo que a camada de argamassa fique presa à superfície.

Finalmente, Carasek (2010, p.918) coloca que a aderência decorre do intertravamento, principalmente, de etringita nos poros do substrato. O aumento da etringita é resultado da mistura de cimento Portland com água, pois a gipsita presente no cimento dissolve-se, libera íons sulfato e cálcio, seguidos dos íons aluminato e cálcio da dissolução do C_3A do cimento. Devido à sucção da base porosa esses íons são transportados para regiões mais internas do substrato formando no interior dos poros trissulfoaluminato de cálcio hidratado, (etringita). Tendo em vista o processo de solução dos íons SO_4^{-2} , AlO^{-4} , Ca^{2+} e de precipitação da etringita, esse produto preenche prioritariamente os poros capilares, o que explica sua maior abundância na zona de contato argamassa/substrato e em poros superficiais da base. Com menos espaço para a precipitação, os produtos de hidratação do cimento, como o C-S-H, por exemplo, ou mesmo produtos posteriores da carbonatação da cal como a calcita, aparecem em menos quantidade na região de interface. Outra parcela menos significativa que contribui para a aderência das argamassas aos substratos são as ligações secundárias do tipo Van der Waals. Seja pela penetração da pasta e da própria argamassa, seja pelas forças secundárias (ligações atômicas), quanto melhor for o contato entre a argamassa e o substrato, maior será a aderência obtida.

A figura 9 ilustra os principais fatores que exercem influência na aderência segundo essa autora.

Figura 9 - Fatores que exercem influência na aderência de argamassas sobre bases porosas



Fonte: Carasek (2010).

5.4.3 *Análise dos esforços*

Maciel, Barros e Sabbatini (1998, p.7) afirmam que a aderência é uma propriedade que o revestimento tem em manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais que surgem na interface base-revestimento. É resultante da resistência de aderência à tração, da resistência de aderência ao cisalhamento e da extensão de aderência da argamassa.

Importante ressaltar que é feita uma distinção por Santos (2008, p.33) entre aderência mecânica e química. A primeira refere-se à penetração da pasta da argamassa nos poros ou entre a rugosidade da base de aplicação ou engaste entre as partículas do substrato e da argamassa. Já a segunda é proporcionada com a introdução de aditivos adesivos que possuem a capacidade de melhorar a aderência das argamassas. Os aditivos adesivos podem ser à base de polímeros (como PVA) e resinas. A introdução destes produtos se apresenta como uma opção para revestimento em bases com condições de porosidade, rugosidade e absorção de água incompatível com o desenvolvimento do sistema de aderência mecânico, como estruturas metálicas.

Tendo em vista os esforços que garantem a resistência química e mecânica é importante o estudo da ABNT NBR 13528:2010 - Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Apesar de abordar apenas os esforços à tração embasará parte dos ensaios a serem realizados.

A resistência de aderência à tração e a resistência à ruptura por tração, em determinada idade e condições de cura do conjunto constituído por substrato-padrão, argamassa colante endurecida e placa cerâmica é definida ainda segundo a ABNT NBR 14081:2004 - Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Requisitos.

6 Determinação dos traços das argamassas

Para determinação do traço a ser utilizado nas argamassas em obra considerou-se a orientação do fabricante de aditivo plastificante. De acordo com a embalagem do produto e do catálogo é sugerido o traço 1:6 para argamassas de assentamento.

É sugerido por Fiorito (2009, p.37), devido à ausência de normas brasileiras específicas para determinar o traço das argamassas utilizadas em alvenarias, seguir as orientações da ASTM-American Society for Testing and Materials, cuja norma C 270-82 dispõe sobre argamassas para Alvenaria (Mortar for Unit Masonry). A tabela 4, anexo dessa norma, divide em quatro tipos as argamassas destinadas a alvenarias portantes e não-portantes e na tabela 5 encontram-se os traços para as argamassas da anterior.

Tabela 4 - Guia para seleção de argamassas para alvenaria (ASTM - C 270)

Posição da alvenaria	Função	Tipo de Argamassa	
		Recomendada	Alternativa
Exterior de elevação	Portante	N	S ou M
	Não-portante	O (2)	N ou S
	Parapeitos	N	S
Exterior, no nível ou abaixo do nível do solo	Fundações	S (3)	M ou N (3)
	Muro de arrimo		
	Poços-Galerias		
	Calçamentos		
	Passeios-Pátios		
Interior	Portante	N	S ou M
	Não-portante	O	S ou N

(1) Esta tabela não indica argamassas para fins especiais, como chaminés, alvenaria armada ou argamassas antiácidas.

(2) Tipo "O" é recomendado para uso onde não há probabilidade de congelamento, quando saturada de água ou não há probabilidade de a alvenaria estar sujeita à ação do vento ou outras cargas laterais significativas.

(3) Alvenaria exposta ao tempo, nas superfícies horizontais, é extremamente vulnerável às intempéries. A argamassa para tais casos deverá ser especificada com maior atenção.

Fonte: Fiorito (2009).

Tabela 5 - Proporções especificadas - ASTM - C 270-82

Argamassa de:	Tipo	Aglomerantes Proporções em volume			Agregado medido úmido e solto (1)
		Cimento Portland	Cimento de alvenaria	Cal hidratada ou pasta de cal	
Cimento/cal	M	1	-	¼	2,81 a 3,75
	S	1	-	1/4 a ½	de (2,81 a 3,75) até (3,38 a 4,50)
	N	1	-	1/2 a 1 ¼	de (3,38 a 4,50) até (5,06 a 6,75)
	O	1	-	1 1/4 a 2 ½	de (5,06 a 6,75) até (7,88 a 10,50)
Cimento de alvenaria	M	1	1	-	4,50 a 6,00
	S	1/2	1	-	3,38 a 4,50
	N	-	1	-	2,25 a 3,00
	O	-	1	-	2,25 a 300

Fonte: Fiorito (2009).

Ainda que não existam instruções normativas brasileiras para determinar um traço específico para assentamento de blocos em alvenaria estrutural, pela ABNT NBR 15961-1:2011 essas argamassas devem possuir resistência à compressão inferior a 70% da resistência característica especificada para bloco, referida área líquida.

A partir dessas informações, optou-se por manter a proporção de materiais cimentícios e agregados miúdos (1 de cimento Portland e 6 de areia média). Porém, devido aos benefícios da utilização de cal optou-se por incluí-la no traço. De acordo com as tabelas 4 e 5, para alvenarias portantes o mínimo de cal a ser utilizado é 0,5.

Dessa forma, o traço inicial para os experimentos foi 1:0,5:6 (cimento Portland, cal hidratada e areia média), que atende o recomendado pela ASTM.

Após os ensaios iniciais constatou-se que argamassas ultrapassaram a resistência à compressão desejada e por isso o traço de referência foi alterado, utilizando-se os seguintes traços 1:0,5:8 e 1:0,5:9.

7 Especificação dos materiais, equipamentos e ferramentas

Os materiais foram especificados segundo os ensaios realizados e os traços determinados. Como matéria prima das argamassas tem-se: cimento Portland, cal hidratada, areia, água potável, aditivo plastificante líquido. Serão necessários ainda argamassa industrializada e blocos de concreto para alvenaria estrutural.

Além desses, identificou-se os materiais de apoio e EPI's necessários para realização dos ensaios: desmoldante, luvas, máscara contra pó, óculos de segurança, filtro para bomba de vácuo a baixa pressão, etiquetas para identificação dos corpos de prova.

Elencam-se ainda os equipamentos e ferramentas necessários: jogo de peneiras para caracterização dos agregados, balança, colher de pedreiro, concha dosadora, béquer 250 ml, béquer 400 ml, pipeta graduada, cronômetro, termômetro, hidrômetro, argamassadeira, espátula, kit para determinação da densidade de massa, mesa para índice de consistência (flow table), molde tronco cônico, soquete para argamassa, régua graduada, kit para moldagem dos corpos de prova de argamassa, bomba de vácuo a baixa pressão, serra-copo, gabarito metálico com dimensões da lateral do bloco e altura de 1 cm, para ensaio de arrancamento, aparelho para teste de arrancamento (Pull off), prensa hidráulica.

8 Experimentos

8.1 Caracterização dos materiais

A caracterização de materiais, por meio de instrumentos e procedimentos, busca identificar as características e propriedades de um material. Dessa forma, é possível classificá-lo para verificar sua aplicabilidade segundo as diretrizes normativas. As normas utilizadas foram da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

8.1.1 Blocos de Concreto

Os blocos de concreto foram caracterizados segundo a ABNT NBR 6136:2016 *Blocos vazados de concreto simples para alvenaria* ² *Requisitos*.

8.1.1.1 Classificação quanto às dimensões

A partir da tabela 6 e das medições realizadas no lote de blocos (figura 10) pode-se classificá-los como blocos inteiros de módulo 15x40 com largura 140mm, altura 190mm e comprimento 390mm.

Tabela 6 - Dimensões nominais

Módulo	Medida Nominal (mm)											
	Largura	Altura	Comprimento									
			Bloco inteiro	1/2 bloco	2/3 bloco	1/3 bloco	Amarração L	Amarração T	Compensador A	Compensador B	Canaleta inteira	Meia canaleta
20 x 40	190	190	390	190	-	-	-	-	90	40	390	190
15 x 40	140	190	390	190	-	-	340	540	90	40	390	190
15 x 30			290	140	-	-	-	440	-	-	290	140
12,5 x 40	115	190	390	190	-	-	-	-	90	40	390	190
12,5 x 25			240	115	-	-	-	365	-	-	240	115
12,5 x 37,5			365	-	240	115	-	-	-	-	-	365
10 x 40	90	190	390	190	-	-	-	-	90	40	390	190
10 x 30			290	140	190	90	-	290	-	-	290	140
7,5 x 40	65	190	390	190	-	-	-	-	90	40	-	-

Fonte: ABNT NBR 6136:2016 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.

Figura 10 - Medições dos blocos ensaiados

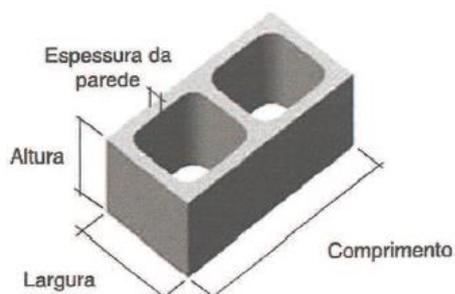


Fonte: A autora (2017).

8.1.1.2 Classificação quanto à classe

Em seguida, conforme o esquema de medições proposto na ABNT NBR 6136:2016 (figura 11), foi obtida a espessura das paredes dos blocos (figura 12).

Figura 11 - Esquema de dimensões dos blocos



Fonte: ABNT NBR 6136:2016 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.

Figura 12 - Espessura dos septos dos blocos a serem ensaiados (18 mm)



Fonte: A autora (2017).

Desta forma, foram classificados como classe C, conforme determina a tabela 7.

Tabela 7 - Classe dos blocos

Classe	Largura nominal (mm)	Paredes longitudinais (mm) ¹	Paredes transversais	
			Paredes (mm) ¹	Espessura equivalente (mm) ²
A	190	32	25	188
	140	25	25	188
B	190	32	25	188
	140	25	25	188
C	190	18	18	135
	140	18	18	135
	115	18	18	135
	90	18	18	135
	65	15	15	113

¹ Média das medidas das paredes tomadas no ponto mais estreito.

² Soma das espessuras de todas as paredes transversais aos blocos (em milímetros), dividida pelo comprimento nominal do bloco (em metros).

Fonte: ABNT NBR 6136:2016 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.

8.1.1.3 Classificação quanto à resistência característica à compressão, absorção e retração

Para determinação da resistência característica à compressão, absorção e retração é necessário inicialmente estabelecer o número de amostras a serem ensaiadas a partir da tabela 8. Uma vez que o lote é inferior a 5000 unidades, o número mínimo de blocos para ensaio dimensional e de resistência à compressão foi de 6 unidades, e absorção e área líquida foi de 3 unidades.

Tabela 8 - Tamanho da amostra

Número de blocos do lote	Número de Blocos da amostra		Número mínimo de blocos para ensaio dimensional e resistência à compressão		Número de blocos para ensaios de absorção e área líquida
	Prova	Contraprova	Critério estabelecido em 6.5.1	Critério estabelecido em 6.5.2	
Até 5000	7 ou 9	7 ou 9	6	4	3
5001 a 10000	8 ou 11	8 ou 11	8	5	3
10001 a 20000	10 ou 13	10 ou 13	10	6	3

Fonte: ABNT NBR 6136:2016 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.

Foram obtidos para resistência à compressão os resultados expressos na tabela 9, em seguida determinou-se a resistência média dos blocos $f_{bm} = 4,5\text{MPa}$.

Tabela 9 - Resultados obtidos para resistência à compressão

Número de blocos	Massa (Kg)	Área (mm ²)	Carga (N)	Resistência (MPa)
1	10,71	54600	235326	4,3
2	10,84	54600	239694	4,4
3	10,65	54600	240240	4,4
4	10,15	54600	245154	4,5
5	10,37	54600	247338	4,5
6	10,2	54600	266448	4,9
Resistência média à compressão - f_{bm} - (MPa)				4,5

Fonte: A autora (2017).

Em seguida foi calculado a partir da equação 1 o $f_{bk,est}$ (resistência característica à compressão da amostra).

$$f_{bk,est} = \frac{f_{bk} + 1,65 \cdot \sigma_{f_{bk}}}{1,05} \quad (1)$$

sendo

$i = n/2$, se n for par;

$i = (n-1)/2$, se n for ímpar

onde

$f_{bk,est}$ é a resistência característica da amostra, expressa em megapascals;

$f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{b(i)}$ são os valores de resistência à compressão individuais dos corpos de prova da amostra, ordenados crescentemente;

n é igual à quantidade de blocos da amostra.

Substitui-se os valores e obteve-se:

$$f_{bk,est} = 4,3 \text{ MPa}$$

Além disso, $f_{bk,est}$ não deve possuir valor inferior a $\psi \cdot f_{b(1)}$.

De acordo com a tabela 10 a seguir tem-se que $\psi_6=0,89$

Tabela 10 - 9DORUGH%HPIXOmRGDTXDmGDGHGHEORFRV

Quantidade de blocos	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18
ψ	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,02	1,04

Fonte: ABNT NBR 6136:2016 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.

Como $n=6$, tem-se que $i=3$ e $\psi_6 \cdot f_{b(1)} = 3,83$.

Dessa forma, a resistência característica à compressão estimada da amostra é de **4,3 MPa**.

Obteve-se o resultado de 7,3% para o índice de absorção de água.

8.1.1.4 Classificação geral

A partir da amostragem, dos resultados obtidos e dos parâmetros normativos (tabela 11) foi possível classificar os blocos como Classe C, resistência característica $f_{bk} \geq 3,0$ MPa e absorção de água $\leq 10,0\%$.

Tabela 11 ± Requisitos para resistência característica à compressão, absorção e retração

Itens			Especificações técnicas		
Classe do bloco			A	B	C ⁽¹⁾
Resistência característica à compressão f_{bk} (MPa)			$f_{bk} \geq 8,0$	$4,0 \leq f_{bk} < 8,0$	$f_{bk} \geq 3,0$
Absorção de água (%)	Agregado normal	Individual	$\leq 9,0$	$\leq 10,0$	$\leq 11,0$
		Média	$\leq 8,0$	$\leq 9,0$	$\leq 10,0$
	Agregado leve	Individual	$\leq 16,0$	$\leq 16,0$	$\leq 16,0$
		Média	$\leq 13,0$	$\leq 13,0$	$\leq 13,0$
Retração (%)			$\leq 0,065$	$\leq 0,065$	$\leq 0,065$

NOTA: No caso de absorção de água, apresentar somente o produto definido pelo fabricante, com agregado normal ou com agregado leve.

(¹) Bloco com ou sem função estrutural. Sua aplicação como bloco estrutural tem limitações, conforme estabelecido na NBR 6136:2016

Fonte: ABNT NBR 6136:2016 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria — Requisitos.

Os dados obtidos foram resumidos na tabela 12.

Tabela 12 - Resumo da classificação dos blocos de concreto

Número de blocos	Massa (Kg)	Área (mm ²)	Carga (N)	Resistência (MPa)
1	10,71	54600	235326	4,3
2	10,84	54600	239694	4,4
3	10,65	54600	240240	4,4
4	10,15	54600	245154	4,5
5	10,37	54600	247338	4,5
6	10,2	54600	266448	4,9
Resistência média à compressão - f_{bm} - (MPa)				4,5
$\psi \cdot f_b(1)$				3,83
$f_{bk, est}$ - (MPa)				4,3
Dimensão média do bloco				
Comprimento (mm):			390	
Largura (mm):			140	
Altura (mm):			190	
Planeza:	Conforme			
Esquadro:	Conforme			
Índice de absorção de água:				7,30%

Fonte: A autora (2017).

Tendo em vista os resultados obtidos o lote foi aceito e os demais ensaios puderam ser realizados.

8.1.2 Agregado miúdo ± areia artificial

Agregado miúdo é aquele cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 µm (tabela 13).

Tabela 13 - Conjunto de peneiras das séries normal e intermediária (abertura nominal)

Série normal	Série intermediária
75 mm	-
-	63 mm
-	50 mm
37,5 mm	-
-	31,5 mm
-	25 mm
19 mm	-
-	12,5 mm
9,5 mm	-
-	6,3 mm
4,75 mm	-
2,36 mm	-
1,18 mm	-
600 µm	-
300 µm	-
150 µm	-

Fonte: ABNT NBR 7211:2009 Agregados para concreto — Especificação.

A areia utilizada nos ensaios foi artificial. A granulometria, a partir dos ensaios granulométricos normatizados, foi registrada na tabela 14:

Tabela 14 - Granulometria areia artificial

Peneira (mm)	Peso retido (g)		Quantidade Retida			
	M1	M2	M1	M2	MÉDIA	ACUM.
75						0%
63						0%
50						0%
37,5						0%
31,5						0%
25						0%
19						0%
12,5						0%
9,5						0%
6,3						0%
4,75	2,28	2,28	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%
2,36	53,31	53,31	10,7%	10,7%	10,7%	11%
1,18	87,28	87,28	17,5%	17,5%	17,5%	29%
0,6	82,06	82,06	16,4%	16,4%	16,4%	45%
0,3	75,95	75,95	15,2%	15,2%	15,2%	60%
0,15	81,3	81,3	16,3%	16,3%	16,3%	76%
Fundo	117,53	117,53	23,5%	23,5%	23,5%	100%
Total	499,71	499,71	100,0%	100,0%	100,0%	

Fonte: A autora (2017).

Em sequência foram somadas as porcentagens retidas acumuladas em massa, nas peneiras da série normal, e dividido o resultado encontrado por 100, obtendo-se assim o módulo de finura: 2,22.

Calculou-se ainda a dimensão máxima característica¹: 4,8.

Finalmente, foram verificados os limites de distribuição granulométrica que devem estar de acordo com a tabela 15.

¹ A dimensão máxima característica, segundo a NBR 7211:2009, consiste em uma grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

Tabela 15 - Limites da distribuição granulométrica do agregado miúdo

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites inferiores		Limites superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona ótima	Zona utilizável
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

NOTAS

1 O módulo de finura da zona ótima varia de 2,20 a 2,90.

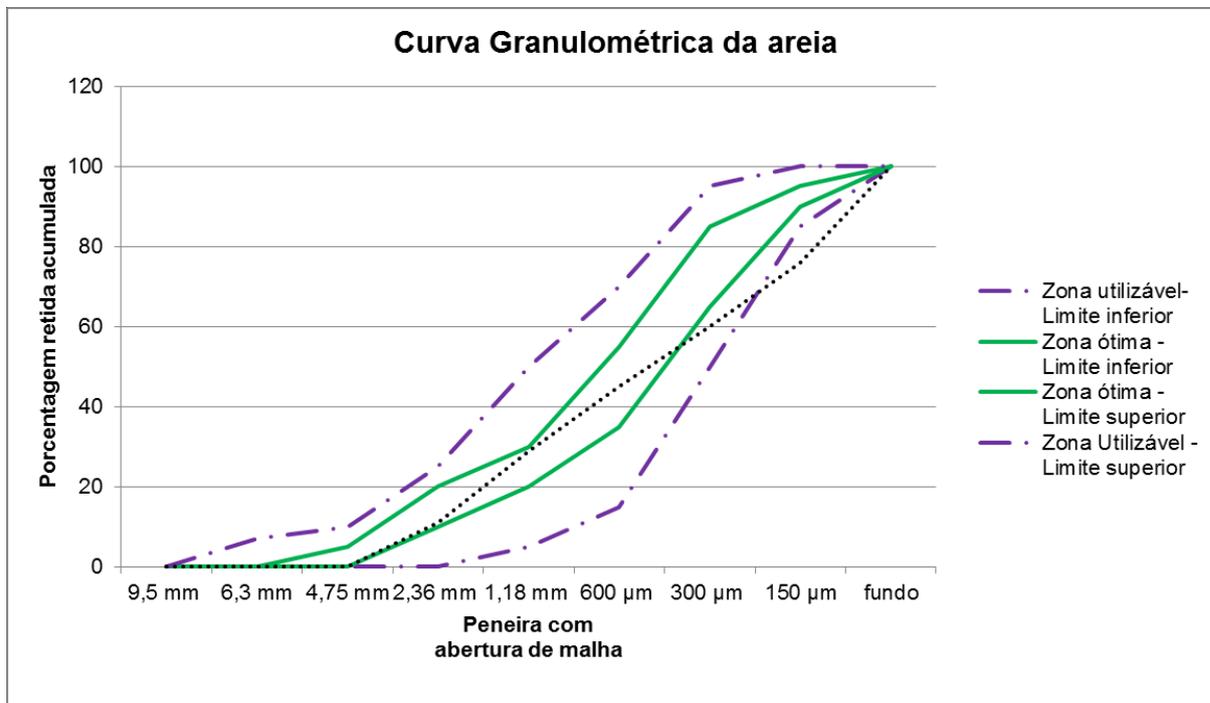
2 O módulo de finura da zona utilizável inferior varia de 1,55 a 2,20.

3 O módulo de finura da zona utilizável superior varia de 2,90 a 3,50.

Fonte: ABNT NBR 7211:2009 Agregados para concreto — Especificação.

A partir das tabelas 14 e 15 foi gerada a curva granulométrica da areia analisada (figura 13).

Figura 13 - Curva granulométrica e limites de distribuição



Fonte: A autora (2018).

De acordo com os limites de distribuição granulométrica do agregado miúdo da tabela 14 e da figura 13 foi possível classificar o material como areia média, tendo em vista que a amostra encontra-se predominantemente dentro desses limites.

Foram feitas ainda as avaliações e registradas na tabela 16 em relação aos limites previstos por cada norma específica.

Tabela 16 - Ensaio areia artificial

ENSAIO	RESULTADOS	UNIDADES
Massa Unitária (NBR 7251)	1,61	kg/dm ³
Massa Esp. (s) (NM52)	2,61	kg/dm ³
Torrões de Arg. (NBR 7218)	-	%
Mat. Pulverulento (NM 46)	12,4	%
Imp. Orgânicas (NM 49)	<	300 PPM
Torrões de Argila (NBR 7211)	-	%
Material Pulverulento (NBR 7211)	-	%
	-	%
Impureza Orgânica (NBR 7211)	<	300 p.p.m.

Fonte: A autora (2017).

Como a areia está dentro de todos os parâmetros pode ser utilizada nos ensaios.

8.1.3 Cimento

A caracterização do cimento utilizado, CII E 40, fornecida pelo fabricante, encontra-se nas tabelas 17, 18 e 19 e estão dentro dos limites exigidos pelas normas.

Tabela 17- Ensaios químicos do cimento

Ensaio	Unidade	Resultados	Especificação NBR 11578/97 - EB2138
Perda ao fogo – PF	%	5,53	≤ 6,5
CF (Cloreto)	%	-	-
Anidrido Sulfúrico - SO ₃	%	3,08	≤ 4,0
Resíduo Insolúvel - RI	%	1,27	≤ 2,5
Óxido de Cálcio Livre - CaO (Livre)	%	1,03	não aplicável
Óxido de Magnésio - MgO	%	1,7	≤ 6,5

Fonte: Fabricante (2017).

Tabela 18 - Ensaios físicos e mecânicos

Ensaio	Unidade	Resultados	Especificação Norma NBR 11578/97 - EB2138
Água específica (Blaine)	cm ³ /g	5062	≥2800
Massa Específica	g/cm ³	3,09	não aplicável
Finura - Resíduo na Peneira de 0,075mm (#200)	%	0,49	≤10
Finura - Resíduo na Peneira de 0,044mm (#325)	%	3,05	não aplicável
Água da Pasta de Consistência Normal	%	34,4	não aplicável
Início de Pega	h:min	02:37	≥01:00
Fim de Pega	h:min	-	≤10:00
Expansibilidade de Le Chatelier - a Quente	Mm	0,00	≤5

Fonte: Fabricante (2017).

Tabela 19 - Resistência à compressão (MPa) - NBR 7215/96

Idade (dias)	Média	Desvio	Especificação norma NBR 11578/91
1	16,8	0,72	não aplicável
3	29,4	0,92	≥15,0 MPa
7	37,9	1,27	≥25,0 MPa
28	47,4	0,28	≥40,0 MPa

Fonte: Fabricante (2017).

8.1.4 Argamassas

Foram ensaiadas três tipos de argamassas: industrializada, dosada em obra sem aditivo e dosada em obra com aditivo. Nos dois últimos casos foram utilizados 3 traços em cada uma: 1:0,5:6 (cimento, cal e areia), 1:0,5:8 (cimento, cal e areia), 1:0,5:9 (cimento, cal e areia) com e sem aditivo plastificante. Totalizando 7 argamassas ensaiadas.

8.1.4.1 Preparo

Argamassa industrializada

Foi utilizada a argamassa industrializada para assentamento e revestimento com as seguintes características, tabela 20:

Tabela 20 - Características da argamassa industrializada

Densidade de massa no estado fresco	1600 a 2000 kg/m ³
Resistência à aderência, 28 dias	> 0,3 MPa
Resistência à compressão, 28 dias, MPa t 4,0	t 4,0 MPa
Retenção de água	80% a 90%
Classificação NBR 13281	P4 - R4 - D4, U3

Fonte: fabricante (2017).

Segundo os parâmetros fornecidos pelo fabricante, essa argamassa atende às especificações da Norma Técnica Brasileira – ABNT NBR 13281:2005 – *Argamassa Industrializada para Assentamento de Paredes e Revestimento de Paredes e Tetos*.

Na mistura da argamassa industrializada foi considerada 17% em massa de água, (tabela 21) e os procedimentos adotados foram de acordo com o preconizado pela ABNT NBR 13276: 2005.

Tabela 21 - Prescrição da água para argamassa industrializada

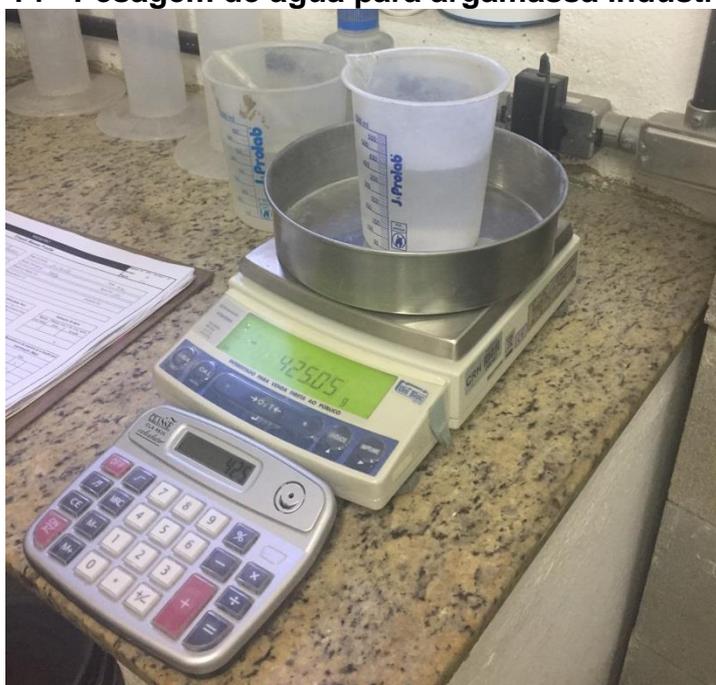
Volume de água			
Formosa (GO)		Pedro Leopoldo (MG)	
%	Litros	%	Litros
16,5	3,3	17,0	3,4

Faixa de variação			
%	Litros	%	Litros
± 5	3,1 a 3,5	± 5	3,2 a 3,5

Fonte: Fabricante (2017).

Inicialmente, foi pesado o percentual em água 0,425kg (figura 14). Em seguida 2,5kg de material seco, como recomenda essa norma, que foi homogeneizado.

Figura 14 - Pesagem de água para argamassa industrializada



Fonte: A autora (2017).

Colocou-se primeiro a água no misturador e adicionou-se o material seco de modo contínuo por 30 segundos; o misturador foi acionado em velocidade baixa por 30 segundos e desligou-se o equipamento; retirou-se a pá de mistura, raspou-se o material e recolocou-se a pá; o equipamento foi ligado novamente por mais 30 segundos, totalizando 2 minutos como recomendado pelo fabricante.

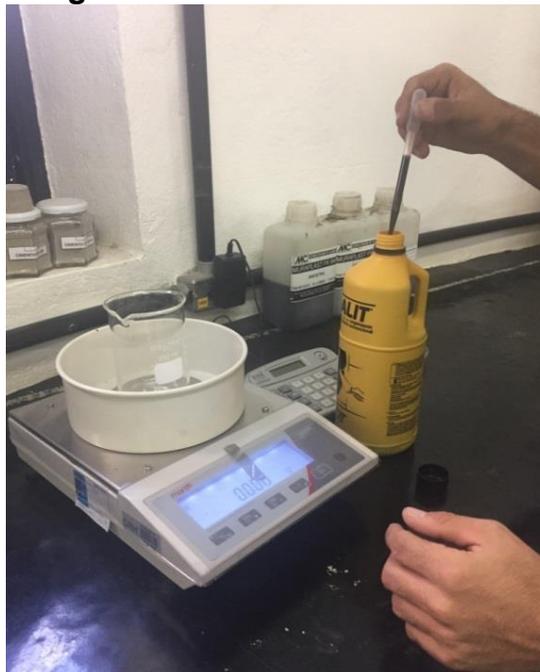
Argamassa dosada em obra sem aditivos

Os materiais foram pesados: cimento, cal e areia. Após a mistura realizada de forma semelhante à argamassa industrializada seguindo as orientações normativas, foi possível ajuste do fator água/cimento de forma a garantir a trabalhabilidade da argamassa. Obteve-se 16,4% de massa de água em relação ao cimento.

Argamassa dosada em obra com uso de aditivos

Os quantitativos de materiais secos foram os mesmos utilizados para argamassa dosada em obra sem aditivos, assim como a quantidade de água. O aditivo plastificante líquido Vedalit (figura 15) utilizado foi selecionado devido a sua facilidade de obtenção e utilização, além do baixo custo unitário. É recomendado pelo fabricante 100 ml de plastificante por saco de cimento (50 kg).

Figura 15 - Aditivo Plastificante



Fonte: A autora (2017).

8.1.4.2 Densidade de massa e ar incorporado

Os ensaios de densidade de massa e ar incorporado foram baseados na ABNT NBR 13278:2005 - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado*.

Segundo essa norma, após o preparo de cada argamassa é preenchido um recipiente cilíndrico, 400cm³ de material não absorvente (figura 16) com três camadas de argamassa, cada camada recebeu 20 golpes. Em seguida foram efetuadas 3 quedas a uma altura de 3 cm.

Figura 16 - Recipiente cilíndrico 400cm³



Fonte: A autora (2017).

Após o rasamento do recipiente com espátula pesou-se o conjunto. A densidade de massa das argamassas foi calculada e registrada na tabela 22:

Tabela 22 - Densidade de massa (Kg/m³)

Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal com aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9
1,78	2,14	2,01	2,14	2,11	2,17	2,09

Fonte: A autora (2017).

Em seguida determinou-se o teor de ar incorporado por meio das equações 2, 3 e 4:

$$\# L \text{ srr } \textcircled{B} F \frac{x}{x_B} A \tag{2}$$

Onde,

A é o teor de ar incorporado (%);

d é o valor da densidade de massa da argamassa (g/cm³);

d_i é o valor da densidade de massa teórica da argamassa (g/cm³);

No caso de argamassas industrializadas tem-se ainda que:

$$A = \frac{m_s}{m_s + m_{\text{água}}} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_s - 1} \quad (3)$$

Onde:

m_s é a massa da argamassa anidra, em gramas;

m_{água} é a massa da água que compõe a argamassa fresca;

γ_s é a massa específica da argamassa anidra.

$$A = \frac{m_i}{m_i + m_{\text{água}}} \cdot \frac{\gamma_i}{\gamma_i - 1} \quad (4)$$

Onde:

m_i é a massa seca de cada componente da argamassa, mais a massa da água;

γ_i é a massa específica de cada componente da argamassa.

O teor de ar incorporado de cada argamassa foi registrado (tabela 23):

Tabela 23 - Teor de ar incorporado

Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo	Argamassa com Cal e com aditivo	Argamassa com Cal sem aditivo	Argamassa com Cal com aditivo	Argamassa com Cal sem aditivo	Argamassa com Cal e com aditivo
	1:0,5:6	1:0,5:6	1:0,5:8	1:0,5:8	1:0,5:9	1:0,5:9
17,00%	9,00%	11,00%	1,00%	3,00%	1,00%	3,00%

Fonte: A autora (2017).

8.1.4.3 Ensaio de Índice de consistência

Para esses ensaios foram seguidos os procedimentos e utilizados equipamentos conforme a ABNT NBR 13276 - *Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência* (figura 17). Foram registrados na tabela 24 os resultados encontrados.

Figura 17 - Ensaio de Índice de consistência



Fonte: A autora (2017).

Tabela 24 - Resultados Índice de consistência

Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal com aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9
274 mm	271 mm	275 mm	300 mm	302 mm	310 mm	305 mm

Fonte: A autora (2017).

8.1.4.4 Ensaio de retenção de água

O ensaio de retenção de água determina a quantidade de água retirada de uma porção de argamassa contida em um funil de filtragem (funil de Büchner modificado), após uma sucção realizada por meio de uma bomba de vácuo a baixa pressão (figura 18) durante 15 minutos.

Figura 18 - Ensaio de retenção de água



Fonte: A autora (2017).

É normatizado pela ABNT NBR 13277:2005 e foi realizado segundo as recomendações dessa. Calculou-se a retenção de água a partir das equações 5 e 6:

$$4 \text{ L } \text{ds F} \frac{k \text{E}_N \text{? } \text{E}_D \text{ o}}{\text{? } \text{E}_N \text{? } \text{E}_D \text{;}} \text{hT srr} \quad (5)$$

Onde:

Mf = massa do conjunto de discos molhados de papel-filtro, em g;

Mse = massa do conjunto de discos secos, em g;

Mma = massa do molde com argamassa, em g;

Mm = massa do molde vazio, em g;

AF = fator água/argamassa fresca:

$$\#(\text{L} \frac{\text{E}_a}{\text{E}_a}) \quad (6)$$

Mw = massa total de água acrescentada à mistura, em g;

M = massa de argamassa industrializada ou soma das massas dos componentes anidros no caso de argamassa de obra, em g.

Registrou-se os resultados na tabela 25 a seguir:

Tabela 25 - Retenção de água

Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo	Argamassa com Cal e com aditivo	Argamassa com Cal sem aditivo	Argamassa com Cal com aditivo	Argamassa com Cal sem aditivo	Argamassa com Cal e com aditivo
	1:0,5:6	1:0,5:6	1:0,5:8	1:0,5:8	1:0,5:9	1:0,5:9
86,00%	74,00%	73,00%	85,00%	86,00%	86,00%	79,00%

Fonte: A autora (2017).

8.1.4.5 Ensaios de resistência à tração e à compressão

Esses ensaios têm como objetivo determinar a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão de argamassas, a metodologia empregada foi estabelecida pela ABNT NBR 13279:2005.

Primeiramente, o laboratório foi ambientado com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa do ar de 60 ± 5 %, como observado na figura 19.

Figura 19 - Temperatura e umidade



Fonte: A autora (2017).

Foi realizada a mistura das argamassas e em seguida moldados 3 corpos de prova para cada tipo de argamassa com dimensões 4x4x16cm conforme apresentado na figura 20.

Figura 20 - Moldagem de corpos de prova



Fonte: A autora (2017).

Após 28 dias de cura, os corpos de prova foram rompidos (figura 21) e obteve-se os seguintes resultados (tabelas 26 e 27, figuras 22 e 23):

Figura 21 - Ruptura à tração na flexão(a), ruptura à compressão(b), corpos de prova rompidos(c)



(a)

(b)

(c)

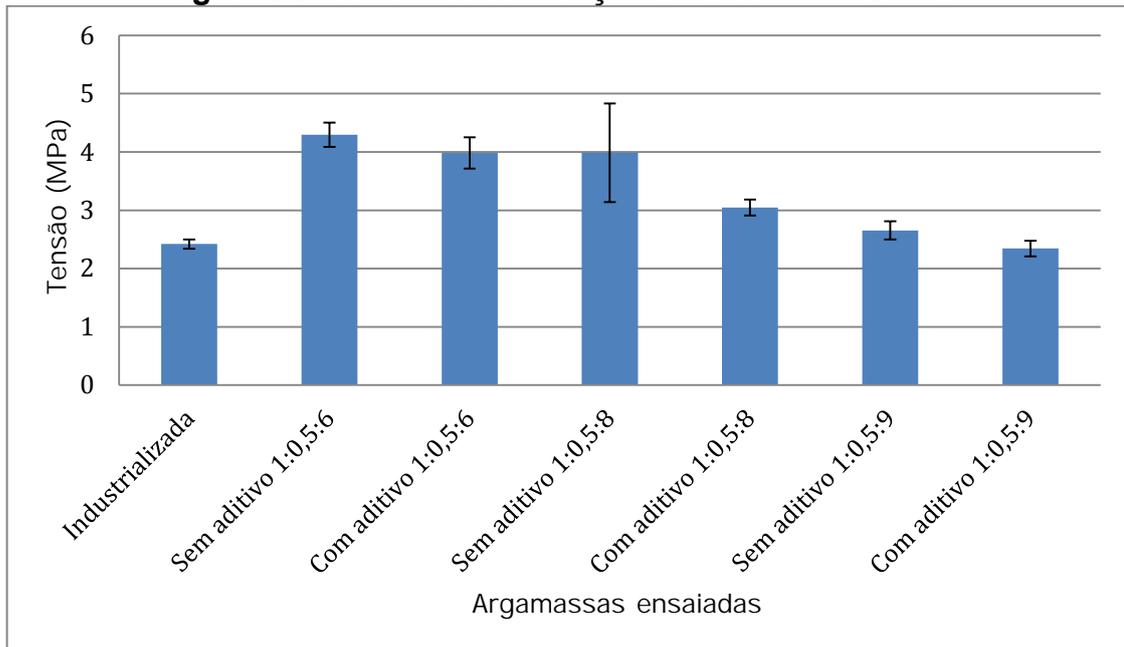
Fonte: A autora (2017).

Tabela 26 - Resistência à Tração na Flexão 28 dias (MPa)

Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal com aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9
2,58	4,69	4,45	3,52	3,05	2,81	2,34
2,34	3,98	3,98	2,81	2,81	2,81	2,11
2,34	4,22	3,52	5,63	3,28	2,34	2,58
Média						
2,42	4,30	3,98	3,99	3,05	2,65	2,34

Fonte: A autora (2017).

Figura 22 - Resistência à tração na flexão aos 28 dias



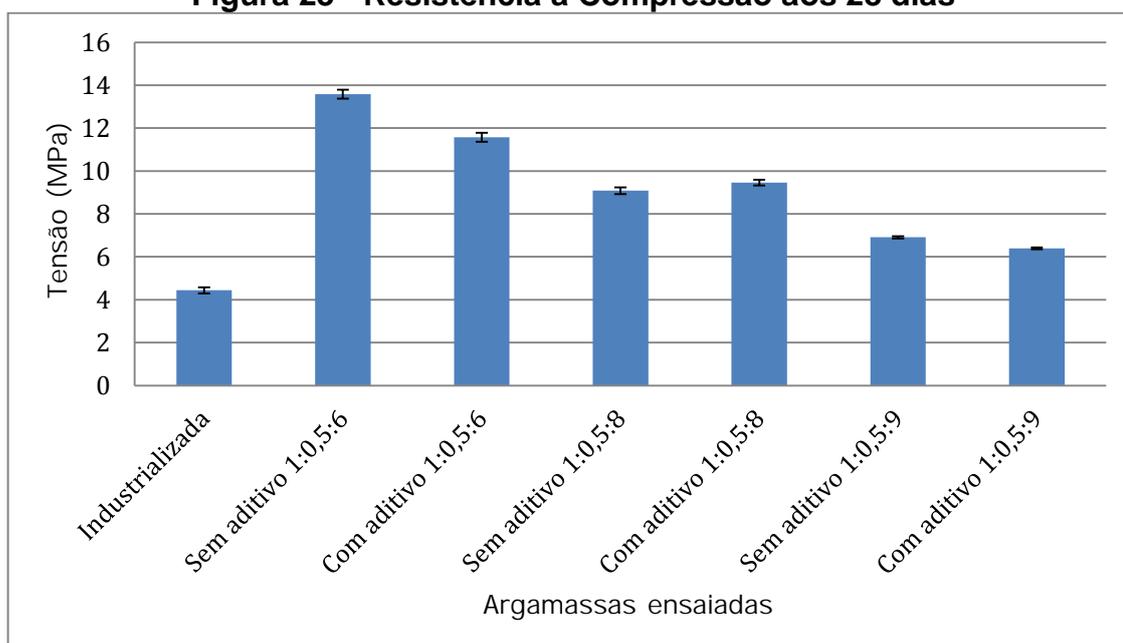
Fonte: A autora (2017).

Tabela 27 - Resistência à Compressão 28 dias (MPa)

Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal com aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9
4,38	14,06	11,38	9,30	9,63	6,69	6,31
3,94	13,56	11,56	8,81	9,56	6,88	6,44
4,25	13,50	12,06	9,00	8,94	7,00	6,44
4,75	14,00	12,25	8,63	9,19	6,88	6,56
4,88	12,63	11,31	9,00	9,81	7,06	6,38
4,44	13,75	10,88	9,75	9,63	6,94	6,25
Média						
4,44	13,58	11,57	9,08	9,46	6,91	6,40

Fonte: A autora (2017).

Figura 23 - Resistência à Compressão aos 28 dias



Fonte: A autora (2017).

A ABNT NBR 15961-1:2011 preconiza que argamassas para assentamento de blocos para alvenaria estrutural devem possuir resistência à compressão inferior a 70% da resistência característica especificada para bloco, referida à área líquida. Dessa forma, calculou-se a resistência do bloco em relação à área líquida e a resistência característica dos blocos em relação à área líquida (tabela 28).

Tabela 28 - Resistência do bloco em relação à área líquida

Número de blocos	Massa (Kg)	Área (mm ²)	Carga (N)	Resistência (MPa)
1	10,71	19656	235326	12,0
2	10,84	19656	239694	12,2
3	10,65	19656	240240	12,2
4	10,15	19656	245154	12,5
5	10,37	19656	247338	12,6
6	10,2	19656	266448	13,6
Resistência média à compressão - fbm - (Mpa)				12,5
$\psi \cdot fb(1)$				10,7
fbk, est - (Mpa)				11,9

Fonte: A autora (2017).

A resistência características dos blocos em relação à área líquida encontrada para os blocos ensaiados foi de **11,9 MPa**. A partir dessa premissa foi calculado o limite para resistência característica dos blocos (área líquida), para cada argamassa.

Esses valores foram registrados na tabela 29. Finalmente, ao comparar com o limite normativo, percebeu-se que a resistência à compressão das argamassas deveria ser de até **8,3 MPa**.

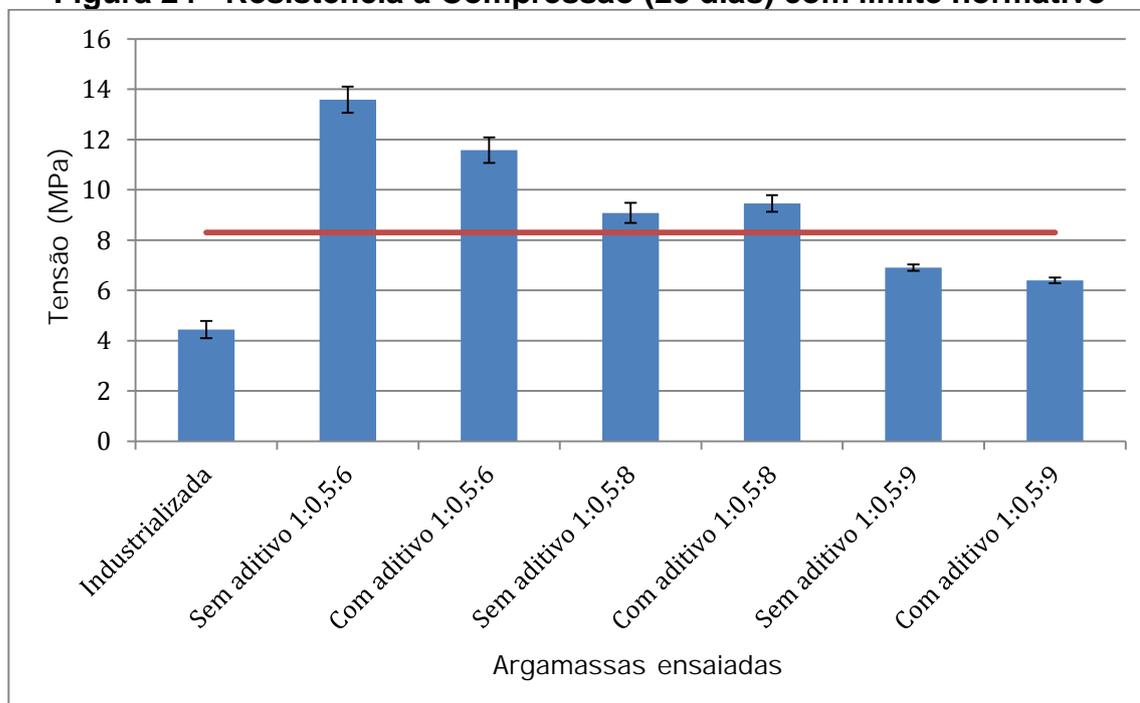
Tabela 29 - Limites de resistências para argamassas segundo a NBR 15961

Argamassa	Resistência limite à compressão, 28 dias (MPa) para argamassa	Resistência características dos blocos <i>fbk,est</i> (MPa) (área líquida)
Limite para o bloco ensaiado	8,3	11,9
Argamassa Industrializada	4,4	6,3
Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:6	13,6	19,4
Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:6	11,6	16,5
Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:8	9,1	13,0
Argamassa com Cal com aditivo 1:0,5:8	9,5	13,6
Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	6,9	9,9
Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9	6,4	9,1

Fonte: A autora (2017).

A figura 24 a seguir apresenta a resistência à compressão de cada argamassa e o limite normativo calculado na tabela 29.

Figura 24 - Resistência à Compressão (28 dias) com limite normativo



Fonte: A autora (2018).

8.2 Ensaios no conjunto argamassa/bloco

8.2.1 Determinação da resistência de aderência à tração

Tendo em vista que a interação entre as camadas é de grande importância neste estudo. O ensaio de aderência à tração, usualmente aplicado a revestimentos, foi adaptado para verificar a interação entre a argamassa e o bloco de concreto.

A superfície utilizada para a aplicação da argamassa foi a lateral dos blocos, uma vez que suas paredes possuem espessura inferior às necessárias para a moldagem dos corpos-de-prova sugeridos pela ABNT NBR 13528:2010.

A camada de argamassa aplicada na lateral dos blocos foi de 1 cm (figura 25), garantida pelo gabarito de altura 1 cm utilizado (figura 26). Essa medida foi devido à espessura usual para assentamentos de blocos de concreto em alvenarias estruturais.

Figura 25 - Blocos com argamassa



Fonte: A autora (2017).

Figura 26 - Gabarito altura 1 cm



Fonte: A autora (2017).

Os cortes dos corpos-de-prova foram realizados com serra-copo a partir da camada de argamassa até passar a superfície do bloco (sem ocasionar a extração). A superfície experimental foi limpa. Colou-se, com adesivo epoxídico, as pastilhas metálicas aos corpos-de-prova. Posteriormente, acoplou-se o equipamento de arrancamento ao conjunto corpo-de-prova/pastilha. Em seguida, aplicou-se esforços de tração (figura 27).

Figura 27 - Ensaio para determinação da resistência de aderência à tração



Fonte: A autora (2017).

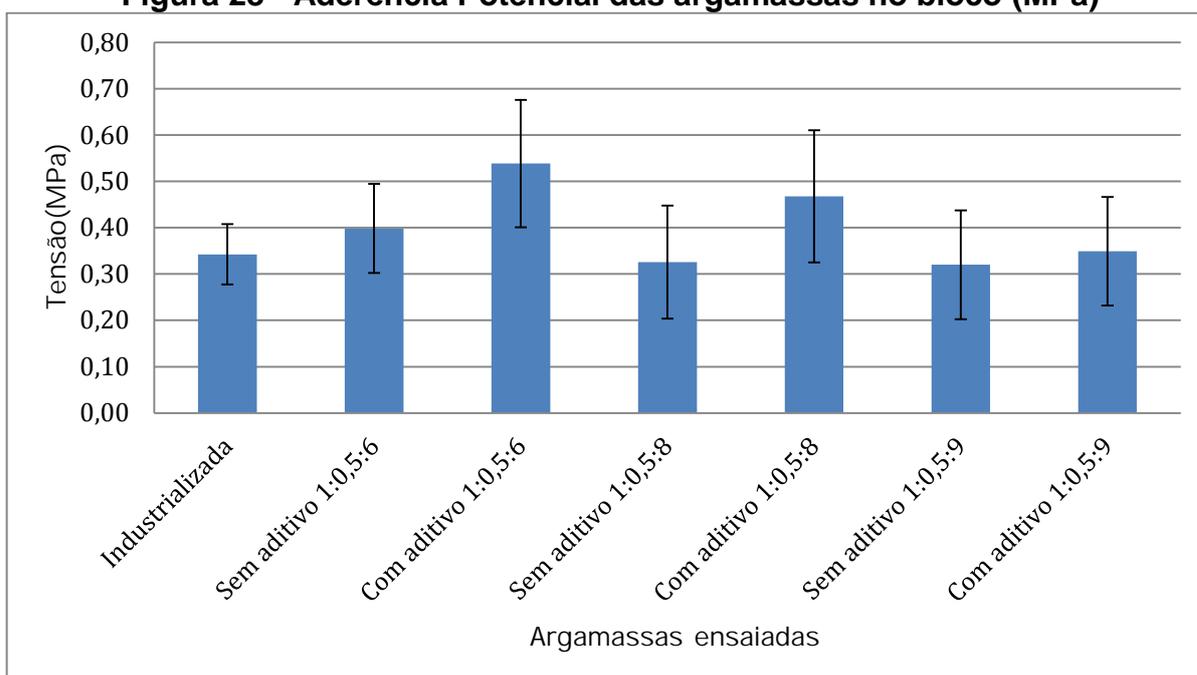
Os resultados obtidos foram registrados na tabela 30 e na figura 28:

Tabela 30 - Aderência Potencial no bloco (MPa)

Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal com aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9
0,27	0,28	0,58	0,16	0,44	0,28	0,31
0,33	0,33	0,52	0,22	0,56	0,26	0,36
0,32	0,45	0,58	0,41	0,59	0,41	0,19
0,46	0,54	0,65	0,33	0,71	0,34	0,17
0,30	0,38	0,45	0,13	0,49	0,58	0,24
0,34	0,42	0,52	0,24	0,27	0,19	0,39
0,42	0,28	0,37	0,38	0,31	0,19	0,42
0,41	0,48	0,61	0,27	0,41	0,39	0,51
0,38	0,37	0,31	0,48	0,24	0,40	0,29
0,24	0,31	0,83	0,35	0,53	0,37	0,55
0,29	0,57	0,44	0,46	0,46	0,20	0,36
0,35	0,37	0,60	0,48	0,60	0,23	0,40
Média						
0,34	0,40	0,54	0,33	0,47	0,32	0,35

Fonte: A autora (2017).

Figura 28 - Aderência Potencial das argamassas no bloco (MPa)



Fonte: A autora (2017).

A ruptura ocorreu tanto entre a argamassa e o bloco quanto entre argamassa e a cola, predominando o primeiro tipo como pode ser observado na figura 29:

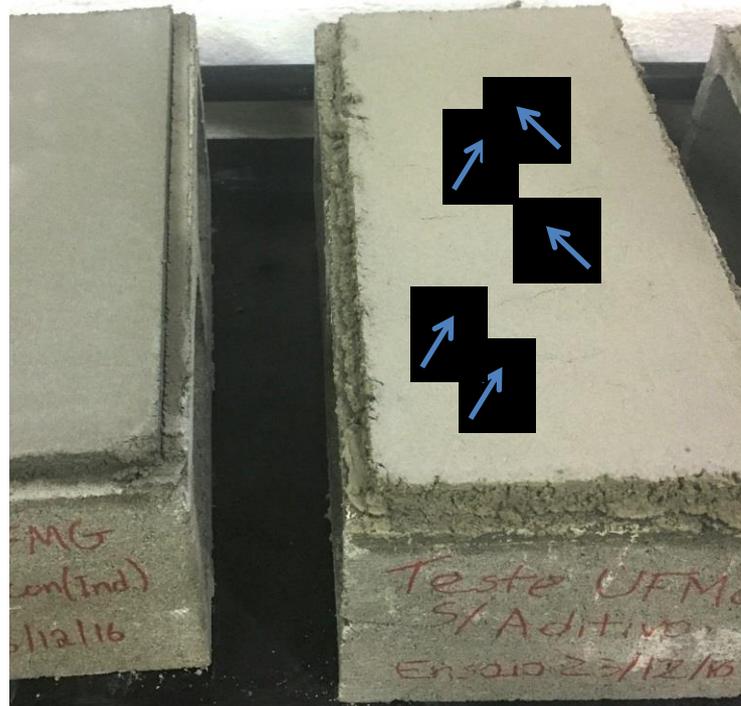
Figura 29 - Superfície após o ensaio



Fonte: A autora (2017).

É importante registrar ainda que após meia hora do assentamento da camada de argamassa nos blocos foi possível observar a formação de diversas fissuras nas argamassas com traços 1:0,5:6 com e sem aditivo plastificante, registrado na figura 30.

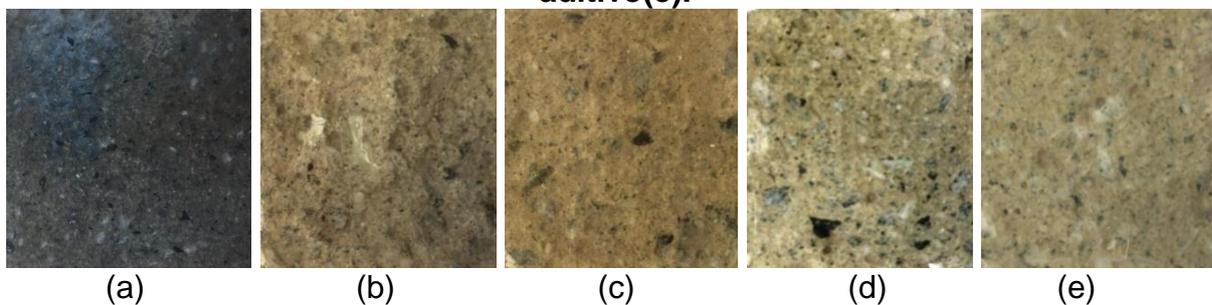
Figura 30 - Fissuras nas argamassas



Fonte: A autora

Entende-se que as argamassas com menor proporção de cimento (1:0,5:8 e 1:0,5:9) tiveram menos retração e por isso não apresentaram fissuras como a argamassa com traço 1:0,5:6. Além disso, quando se analisa a figura 31 pode-se perceber que a argamassa industrializada (primeira superfície fotografada) possui menores dimensões de agregados e menos descontinuidade em sua granulometria, conseqüentemente, é necessário menos pasta de cimento para envolver os grãos reduzindo também a retração.

Figura 31 ± Superfície das argamassas (escala 1:1): industrializada (a), 1:0,5:8 sem aditivo (b), 1:0,5:8 com aditivo(c), 1:0,5:9 sem aditivo(d), 1:0,5:9 com aditivo(e).

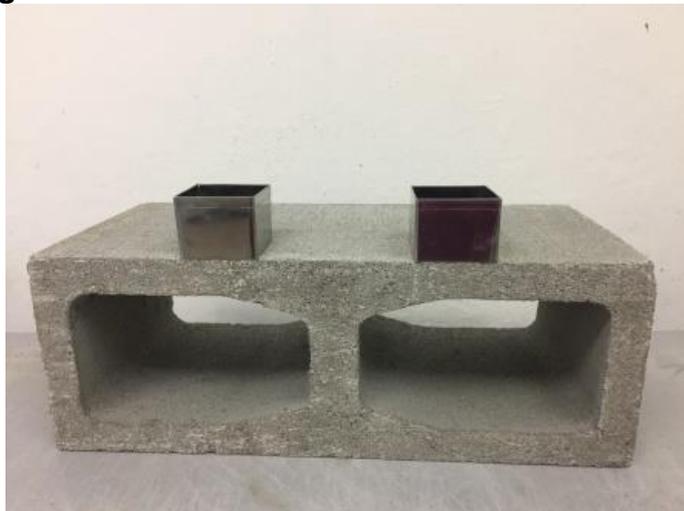


Fonte: A autora (2017).

8.2.2 Determinação da resistência ao cisalhamento

Para realização desse ensaio utilizou-se duas fôrmas metálicas com dimensões de 5x5x4cm figura 32.

Figura 32 - Fôrmas metálicas dimensões 5x5x4cm



Fonte: A autora (2017).

Inicialmente, com auxílio de um pincel passou-se desmoldante para facilitar a desforma, figura 33.

Figura 33 - Desmoldante nas fôrmas metálicas



Fonte: A autora (2017).

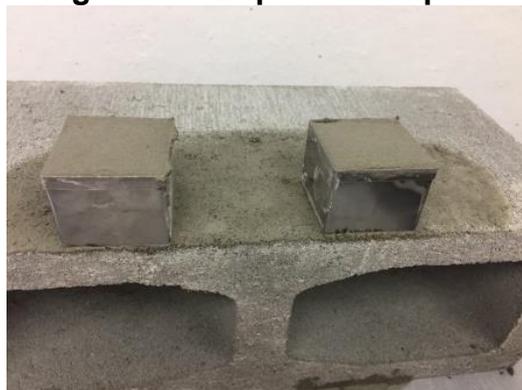
Em seguida, imprimou-se um pouco de argamassa na face do bloco e posicionou-se as fôrmas sobre essa argamassa para posteriormente preenchê-las com mais argamassa. Logo, limpou-se a superfície ao redor das fôrmas, figuras 34 e 35.

Figura 34 - Antes da limpeza



Fonte: A autora (2017).

Figura 35 - Depois da limpeza



Fonte: A autora (2017).

Após a desforma esperou-se 28 dias para realizar a ruptura. Colou-se as pastilhas do equipamento de ensaios de arrancamento com superfície de 5x5cm às fôrmas de 6x6x4cm, tendo em vista que ao desformar os corpos de prova a argamassa acomodou-se. Sequencialmente essas fôrmas foram posicionadas nos corpos de prova (figura 36), encapsulando-os.

Figura 36 - Fôrmas coladas na pastilha e encapsulando o corpo de prova



Fonte: A autora (2017).

Acoplou-se o conjunto no equipamento de ensaio de arrancamento (figura 37) e realizou-se a ruptura por cisalhamento.

Figura 37 - Conjunto acoplado no equipamento de ensaio de arrancamento



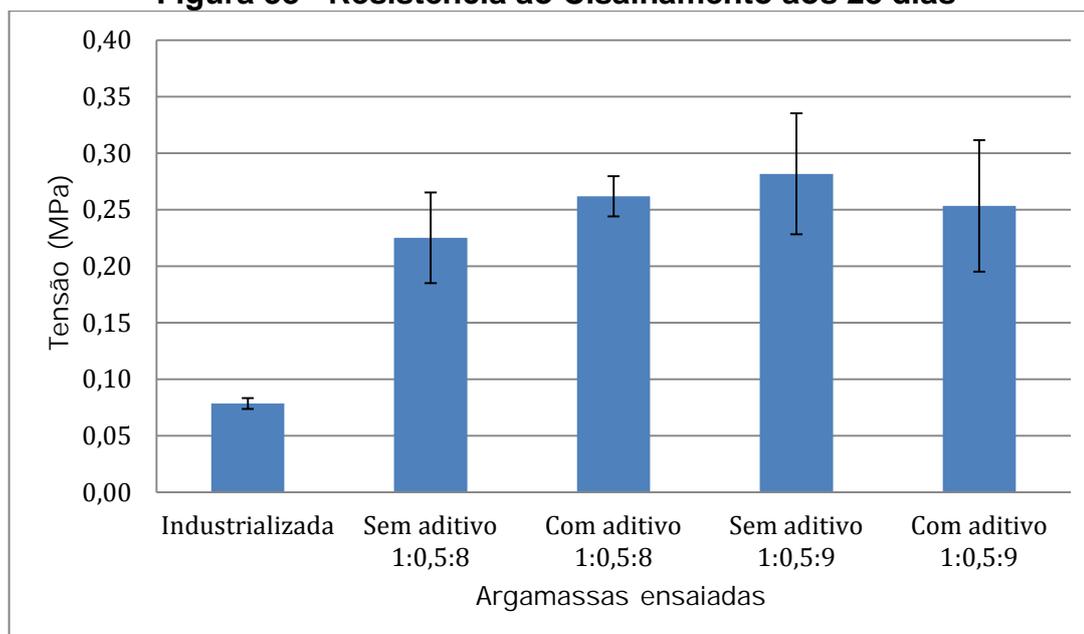
Fonte: A autora (2017).

Como as argamassas com traço 1:0,5:6 (com e sem aditivo) apresentaram valores muito superiores ao limite normativo de resistência à compressão (ainda que considerado o desvio padrão) e fissuraram logo após aplicação no bloco indicando alta retração foram consideradas inadequadas à utilização nesse bloco. Assim, não foi realizado o ensaio de cisalhamento nas argamassas com esses traços. Para as demais argamassas ensaiadas, os resultados obtidos para resistência ao cisalhamento foram registrados na tabela 31 e na figura 38.

Tabela 31 - Resistência ao Cisalhamento (MPa)

Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal com aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9
0,09	0,18	0,24	0,15	0,51
0,09	0,39	0,22	0,21	0,25
0,08	0,29	0,22	0,29	0,31
0,06	0,12	0,29	0,27	0,16
0,08	0,20	0,33	0,24	0,16
0,07	0,17	0,27	0,53	0,13
Média				
0,08	0,23	0,26	0,28	0,25

Fonte: A autora (2017).

Figura 38 - Resistência ao Cisalhamento aos 28 dias

Fonte: A autora (2017).

Optou-se por realizar o ensaio encapsulado para evitar a ruptura na argamassa, objetivava-se verificar a interação entre o bloco e o material de assentamento para análise da aderência.

9 Análise de resultados

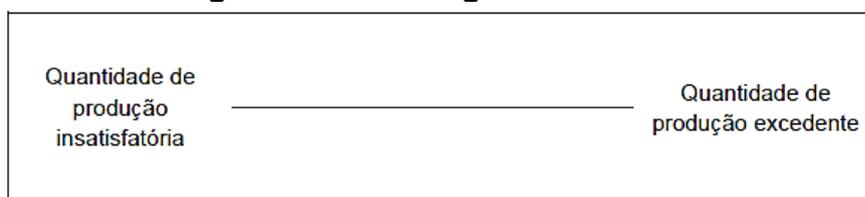
9.1 Método da Escala Gráfica

Dentre os métodos de avaliação existentes optou-se por um que fosse simples, de fácil compreensão e utilização, capaz de proporcionar uma visão gráfica e global dos fatores de avaliação desenvolvidos e permitisse uma avaliação entre as várias argamassas utilizadas. Assim, foi feita uma analogia com o método de avaliação utilizado geralmente para gestão de pessoas denominado método da escala gráfica.

Segundo Chiavenato (2004, p. 230) o método da escala gráfica avalia o desempenho por meio de fatores previamente definidos e graduados. Dessa forma, o primeiro passo para avaliação deve ser a definição dos fatores de aferição e comparação.

Chiavenato (2004, p.265) ainda determina três alternativas de escalas gráficas. A primeira é a escala contínua em que se determinam apenas os dois extremos e a avaliação situa-se entre qualquer ponto entre eles (figura 39).

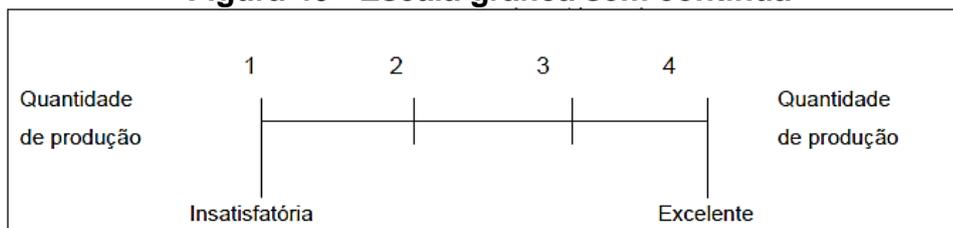
Figura 39 - Escala gráfica contínua



Fonte: Chiavenato (2004).

A segunda é a escala sem contínua que, de maneira semelhante a anterior, avalia entre dois pontos, porém essa escala possui valores intermediários entre os extremos (figura 40).

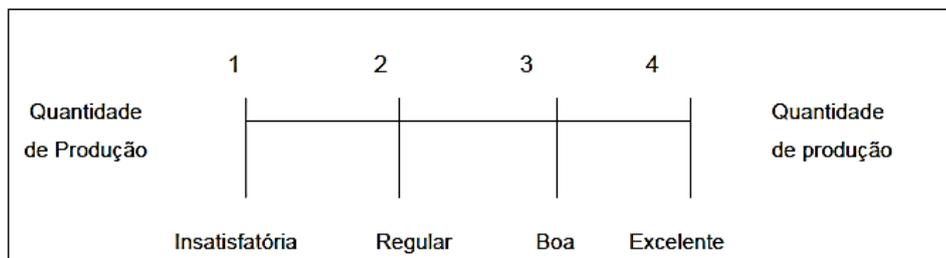
Figura 40 - Escala gráfica sem contínua



Fonte: Chiavenato (2004).

Por último, a terceira escala é a descontínua (figura 41) que possui marcações já fixadas e o avaliador avalia de acordo com essas posições.

Figura 41 - Escala gráfica descontínua



Fonte: Chiavenato (2004, p.265).

9.2 Definição dos fatores de aferição e comparação

Uma vez que o objetivo do estudo é uma análise do desempenho das argamassas os fatores determinados foram: retenção de água, resistência à tração na flexão aos 28 dias, resistência à compressão aos 28 dias, aderência potencial no bloco e resistência ao cisalhamento.

É importante destacar que o resultado de retenção de água foi incluído como parâmetro comparativo, pois, segundo Parsekian e Soares (2010, p.37) é uma das propriedades mais importantes na aderência das argamassas ao bloco, pois melhora as condições de hidratação do cimento, Carasek (2010, p.911) ainda acrescenta que a retenção de água torna-se mais importante quando a argamassa é aplicada sobre substratos com alta sucção de água ou as condições climáticas estão mais desfavoráveis (alta temperatura, baixa umidade relativa e ventos fortes), como é o caso do substrato em estudo.

9.3 Avaliação pelo método da escala gráfica

Optou-se pela escala gráfica descontínua de forma a obter valores inteiros que facilitassem a análise do desempenho.

A partir da definição do método de avaliação e dos resultados obtidos nos ensaios (tabela 32), partiu-se para etapa de avaliação da argamassa com melhor desempenho para utilização em assentamento de blocos de concreto para alvenaria estrutural. Selecionou-se, então, os fatores de avaliação (tabela 33).

Tabela 32 - Resumo dos resultados

Tipo de argamassa	Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal com aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9	
Densidade de massa (NBR 13278)	1,78	2,14	2,01	2,14	2,11	2,17	2,09	
Teor de ar incorporado (NBR 13278)	17,00%	9,00%	11,00%	1%	3%	1%	3%	
Retenção de água (NBR 13277)	86,00%	74,00%	73,00%	85%	86%	86%	79%	
Resistência à Tração na Flexão 28 dias (MPa) (NBR 13279)	2,58	4,69	4,45	3,52	3,05	2,81	2,34	
	2,34	3,98	3,98	2,81	2,81	2,81	2,11	
	2,34	4,22	3,52	5,63	3,28	2,34	2,58	
	Média							
	2,42	4,30	3,98	3,99	3,05	2,65	2,34	
Resistência à Compressão 28 dias (MPa) (NBR 13279)	4,38	14,06	11,38	9,30	9,63	6,69	6,31	
	3,94	13,56	11,56	8,81	9,56	6,88	6,44	
	4,25	13,50	12,06	9,00	8,94	7,00	6,44	
	4,75	14,00	12,25	8,63	9,19	6,88	6,56	
	4,88	12,63	11,31	9,00	9,81	7,06	6,38	
	4,44	13,75	10,88	9,75	9,63	6,94	6,25	
	Média							
	4,44	13,58	11,57	9,08	9,46	6,91	6,40	
Aderência Potencial no Bloco (NBR 13528)	0,27	0,28	0,58	0,16	0,44	0,28	0,31	
	0,33	0,33	0,52	0,22	0,56	0,26	0,36	
	0,32	0,45	0,58	0,41	0,59	0,41	0,19	
	0,46	0,54	0,65	0,33	0,71	0,34	0,17	
	0,30	0,38	0,45	0,13	0,49	0,58	0,24	
	0,34	0,42	0,52	0,24	0,27	0,19	0,39	
	0,42	0,28	0,37	0,38	0,31	0,19	0,42	
	0,41	0,48	0,61	0,27	0,41	0,39	0,51	
	0,38	0,37	0,31	0,48	0,24	0,4	0,29	
	0,24	0,31	0,83	0,35	0,53	0,37	0,55	
	0,29	0,57	0,44	0,46	0,46	0,2	0,36	
0,35	0,37	0,60	0,48	0,6	0,23	0,4		
	Média							
	0,34	0,40	0,54	0,33	0,47	0,32	0,35	
Resistência ao Cisalhamento (MPa)	0,09	-	-	0,18	0,24	0,15	0,51	
	0,09	-	-	0,39	0,22	0,21	0,25	
	0,08	-	-	0,29	0,22	0,29	0,31	
	0,06	-	-	0,12	0,29	0,27	0,16	
	0,08	-	-	0,20	0,33	0,24	0,16	
	0,07	-	-	0,17	0,27	0,53	0,13	
	Média							
	0,08	-	-	0,23	0,26	0,28	0,25	

Fonte: A autora (2018).

Tabela 33 - Fatores para avaliação pelo método da escala gráfica

Tipo de argamassa	Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:6	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal com aditivo 1:0,5:8	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9
Retenção de água (NBR 13277)	86,00%	74,00%	73,00%	85%	86%	86%	79%
Resistência à Tração na Flexão 28 dias (MPa) (NBR 13279)	2,42	4,30	3,98	3,99	3,05	2,65	2,34
Resistência à Compressão 28 dias (MPa) (NBR 13279)	4,44	13,58	11,57	9,08	9,46	6,91	6,40
Aderência Potencial no Bloco (NBR 13528)	0,34	0,40	0,54	0,33	0,47	0,32	0,35
Resistência ao Cisalhamento (MPa)	0,08	-	-	0,23	0,26	0,28	0,25

Fonte: A autora (2018).

Essa avaliação demanda uma dupla entrada de dados, em que as linhas representam os fatores de avaliação e as colunas os valores dados a cada um dos fatores para cada argamassa avaliada.

Entende-se que não seria adequado avaliar todas as argamassas, tendo em vista que as argamassas com traço 1:0,5:8 (com e sem aditivo) possuem valor de resistência à compressão superior ao limite normativo e as argamassas com traço 1:0,5:6 (com e sem aditivo) além da resistência à compressão acima do limite normativo apresentou retração após o assentamento. Incluí-las na avaliação faria com que a pontuação geral delas aumentasse (pelos altos valores nesse fator) mascarando o resultado final e avaliação do desempenho.

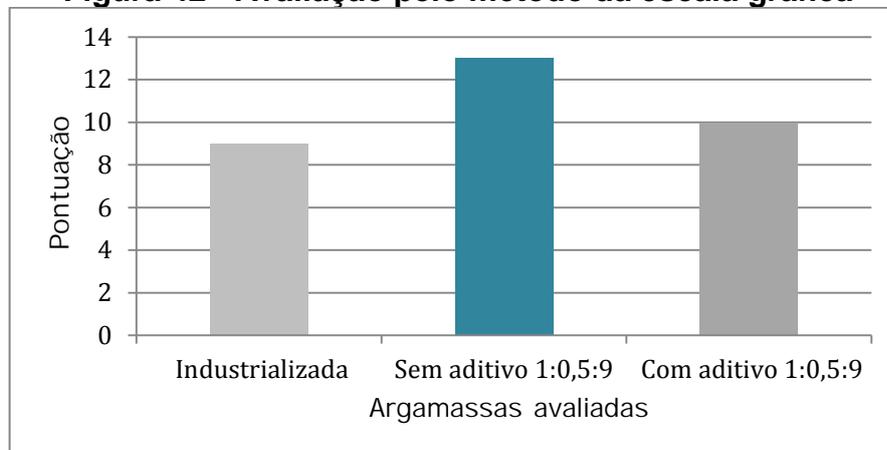
Avaliou-se portanto a argamassa industrializada, a argamassa dosada em obra sem aditivo com traço 1:0,5:9 e a argamassa dosada em obra com aditivo com traço 1:0,5:9. Cada fator recebeu uma pontuação que variou de 1 a 3, sendo 3 o melhor desempenho e 1 o pior. No caso de valores iguais classificou-se com a mesma pontuação. Obteve-se assim a tabela 34 e figura 42.

Tabela 34 - Avaliação pelo método da escala gráfica

Tipo de argamassa	Argamassa Industrializada	Argamassa com Cal sem aditivo 1:0,5:9	Argamassa com Cal e com aditivo 1:0,5:9
Retenção de água	3	3	2
Resistência à Tração na Flexão 28 dias	2	3	1
Resistência à Compressão	1	3	2
Aderência Potencial no Bloco	2	1	3
Resistência ao Cisalhamento	1	3	2
Total	9	13	10

Fonte: A autora (2018).h

Figura 42 - Avaliação pelo método da escala gráfica



Fonte: A autora (2018).

Dessa forma, a argamassa com melhor resultado de desempenho, segundo o método da escala gráfica, foi a com traço 1:0,5:9 sem aditivo plastificante e o pior desempenho para aplicação em alvenaria estrutural de blocos de concreto foi da argamassa industrializada.

10 Considerações finais

A argamassa com melhor desempenho para aplicação em alvenaria estrutural dos blocos de concreto utilizados nos ensaios, segundo o método avaliativo aplicado, foi a argamassa 1:0,5:9 sem aditivo plastificante.

Em relação ao limite normativo, recomendado pela NBR 15961-1:2011, as argamassas devem possuir resistência a compressão inferior à 70% da resistência característica especificada para bloco, para os blocos ensaiados a resistência a compressão estimada em relação a área líquida é igual a 11,9 MPa e o limite da resistência à compressão correspondente da argamassa é 8,3 MPa. Entende-se que é importante atentar-se a esse limite pois, segundo a bibliografia, argamassas com resistência à compressão exageradamente alta podem reduzir a resistência final das paredes comprometendo o bom funcionamento da alvenaria estrutural.

No caso das argamassas com traço 1:0,5:6 (com e sem aditivo) o limite normativo inviabilizaria o comparativo, além disso, essas argamassas apresentaram grande retração e fissuração, conseqüentemente alto potencial de manifestação patológica por má aderência aos blocos. Pondera-se ainda, que segundo a bibliografia estudada as argamassas produzidas com cal apresentam menores resistências à compressão que as argamassas de cimento e areia (sem cal). Assim, caso fosse utilizado o traço 1:6, sugerido pelo fabricante de aditivo plastificante, a resistência à compressão seria ainda maior teoricamente e conseqüentemente ainda mais inadequada.

As argamassas dosadas em obra com e sem aditivo para o traço 1:0,5:8 não deveriam ser utilizadas para os blocos ensaiados, pois também ultrapassam o limite normativo de resistência à compressão. Ressalta-se porém, que para blocos que atendam a condição normativa elas apresentaram um bom desempenho. Nesse traço, em relação à aderência entre blocos e argamassa de assentamento, a utilização de aditivo plastificante incrementou essa propriedade. Na comparação com a argamassa industrializada a de traço 1:0,5:8 apresentou um aumento de 36% da aderência potencial à tração e de 234% em relação à aderência ao cisalhamento. Já em relação à argamassa dosada em obra sem aditivo, o aumento para aderência potencial à tração foi de 43% e comparada a aderência ao cisalhamento foi de 16%.

Ressalta-se porém, que o incremento da aderência não foi observado em todos os traços e não pode ser considerado uma tautologia lógica. Todavia, é importante lembrar que segundo a bibliografia e as observações experimentais ocorre um ganho de trabalhabilidade e há uma possibilidade de redução do fator água/cimento, portanto, caso a aplicação demande alguma dessas situações o uso do aditivo plastificante é aconselhável.

Importante colocar ainda, que apesar da argamassa industrializada atender o limite normativo quando comparada às demais argamassas é a que possui o pior desempenho geral.

Na prática é equivocadamente usual o emprego do mesmo traço de argamassa para assentamento dos blocos de diversas resistências. Assim, segundo os resultados obtidos, recomenda-se que a especificação dos traços das argamassas para assentamento de blocos em alvenaria estrutural deve ser particularizada.

Finalmente, destaca-se a importância de inovar a experimentação para determinação de parâmetros que devem ser avaliados. Dessa forma, o ensaio de cisalhamento estabelecido nesse estudo é de extrema significância não somente na análise do desempenho das argamassas para assentamento de blocos de concreto em alvenaria estrutural, como também pode e deve ser utilizado em outros substratos de forma a verificar a aderência entre os mesmos quando submetidos a esses esforços.

11 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM DO BRASIL – **Manual do concreto dosado em central**. São Paulo, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento Portland ± Requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação de índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13277: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13529: Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211: Agregados para concreto² Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7251: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7218: Agregados ² Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 46: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR NM 49: Agregado miúdo - Determinação de impurezas orgânicas.** Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11578: Cimento Portland composto - Especificação.** Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão.** Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11578: Cimento Portland composto ± Especificação.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11578: Cimento Portland composto ± Especificação.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas.** Rio de Janeiro 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13281: Argamassa Industrializada para Assentamento de Paredes e Revestimento de Paredes e Tetos.** Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13281: Argamassa Industrializada para Assentamento de Paredes e Revestimento de Paredes e Tetos.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14081: Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas ± Requisitos.** Rio de Janeiro 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7171: Bloco Cerâmico para Alvenaria.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10837: Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto.** Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15961-1, Alvenaria estrutural - Blocos de concreto ± parte 1: projeto.** Rio de Janeiro, 2011.

CAMACHO, Jefferson S. **Projetos de Edifícios de Alvenaria Estrutural**, 2006. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/10186677-Projeto-de-edificios-de-alvenaria-estrutural-prof-dr-jefferson-sidney-camacho.html>>. Acesso em 01 fev. 2018.

CARVALHO FILHO, Moacyr. **Aditivos: Plastificantes e Retardantes de pega.** 2013. 12 f. Material didático do Departamento de Construção Civil e Transportes- Materiais de Construção Civil I da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

CARVALHO JÚNIOR, Antônio Neves de. **Avaliação da aderência dos revestimentos argamassados:** uma contribuição à identificação do sistema de aderência mecânico. 2005. 331 f. Tese de Doutorado apresentado ao curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2005.

CARASEK, Helena. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Materiais de Construção Civil** e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: Ibracon, 2010. p 893-944.

CARASEK, Helena. DJANIKIAN, João Gaspar. **Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Unidades de Alvenaria**. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo: 1997.

CHIAVENATO, Idalberto. **Gestão de Pessoas: o novo papel dos recursos humanos nas organizações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

FIORITO, Antônio J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimentos**. 2ª Ed. São Paulo, PINI, 2009.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos. **A Cal**. 2ª Ed. São Paulo, PINI, 2002.

KALIL, Sílvia Maria Baptista. **Alvenaria Estrutural**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Disponível em:

<http://www.feng.pucrs.br/professores/soares/Topicos_Especiais_-_Estruturas_de_Madeira/Alvenaria.pdf>. Acesso em 01 fev. 2018

LOURENÇO, Paulo B. **Concepção e projecto para Alvenaria**. In: Seminário sobre Paredes de Alvenaria, Porto, Portugal, 2002, 35 p.

MACIEL, Luciana Leone. BARROS, Mércia M. S. Bottura. SABBATINI, Fernando Henrique. **Recomendações para Execução de Revestimentos de Argamassa para paredes de vedação internas e externa e tetos**. São Paulo, 1998.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MLINÁRIK, Lilla; KOPECSKÓ Katalin. **Impact of metakaolin - a new supplementary material - on the hydration mechanism of cements**. In: Acta Technica Napocensis: Civil Engineering & Architecture First International Conference for PhD Students in Civil Engineering. Budapest, 2013 Vol. 56, No. 2. 11p.

PARSEKIAN, Guilherme Aris; SOARES, Márcia Melo. **Alvenaria estrutural em blocos cerâmicos: projeto, execução e controle**. São Paulo: Nome da Rosa, 2010.

RANDALL Jr, Frank A; PANARESE, William C. **Concrete Masonry Handbook: for Architects, Engineers, Builders.** U.S. A: Portland Cement Association, 1976.

RAMALHO, Marcio A.; CORRÊA, Márcio R. S. **Projeto de Edifícios de Alvenaria Estrutural.** São Paulo: PINI, 2003.

SANTOS, André Vieira dos. Influência da base na resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento em alvenarias de bloco cerâmico e de concreto. **Especialize**, Brasília, IPOG, v.1, n. 10, dez /2015.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento.** Monografia apresentado ao curso de Especialização em Construção Civil Escola de Engenharia da UFMG, Minas Gerais, 2008.

SILVA, Narciso Gonçalves da; CAMPITELI, Vicente Coney. **Influência dos finos e da cal nas propriedades das argamassas.** In: Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, XI, 2006, Florianópolis. 10 p.

TAUIL, Carlos Alberto, NESSE, Flávio José Martins. **Alvenaria Estrutural.** 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2010. 1 v. 183 p.