

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC**

**ANGELO PAGANI**

**ADERÊNCIA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA  
EM BLOCO DE CONCRETO CELULAR  
AUTOCLAVADO**

VITÓRIA  
2012

**ANGELO PAGANI**

**ADERÊNCIA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA  
EM BLOCO DE CONCRETO CELULAR  
AUTOCLAVADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Materiais de Construção.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Avancini Tristão

VITÓRIA  
2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

P129a Pagani, Angelo, 1955-  
Aderência de revestimento de argamassa em bloco de  
concreto celular autoclavado / Angelo Pagani. – 2012.  
64 f. : il.

Orientador: Fernando Avancini Tristão.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade  
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Argamassa. 2. Concreto celular autoclavado. 3. Aderência  
de revestimento. I. Tristão, Fernando Avancini. II. Universidade  
Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 624

---

**ANGELO PAGANI**

**ADERÊNCIA DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA  
EM BLOCO DE CONCRETO CELULAR  
AUTOCLAVADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Materiais de Construção.

Aprovada em 14 de maio de 2012.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Fernando Avancini Tristão**  
Presidente da banca e Orientador

---

**Prof. Dr. João Luiz Calmon Nogueira da Gama**  
Examinador interno

---

**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Geilma Lima Vieira**  
Examinadora interna

---

**Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Georgia Serafim Araújo**  
Examinadora Externa

Esta pesquisa é dedicada à minha esposa Therezinha e aos meus filhos Victor, Lucas e Pedro Henrique pelo apoio, estímulo e compreensão para a concretização deste Mestrado.

## AGRADECIMENTOS

Ao amigo, colega de engenharia e orientador Prof. Dr. Fernando Avancini Tristão pelo incentivo para iniciar essa jornada e pelo apoio ao longo desta pesquisa.

Ao amigo, colega de engenharia, Prof. Dr. João Luiz Calmon Nogueira da Gama pelo incentivo da busca de novos conhecimentos.

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Geilma Lima Vieira pela ajuda no esclarecimento de teorias desenvolvidas nesta pesquisa.

Aos técnicos do Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção Civil da UFES, em especial ao Sr. Carlos Maria Izoton e Sr. Marcio Antonio Loss, pela valiosa ajuda na realização de alguns ensaios.

Ao Sr. Guimas Pereira, em nome da Fio e Ferro Materiais, Serviços e Construção Ltda pelo fornecimento de parte dos materiais utilizados nesta pesquisa.

Ao Diretor Técnico de Desenvolvimento da PRECON, Eng. Silvio Xavier Santo e ao Eng. Alberto Luciano Pereira Neto, gerente técnico da PRECON, pelo fornecimento dos blocos de concreto celular autoclavado e pela doação de equipamentos utilizados nesta pesquisa.

Aos demais professores que contribuíram com esta minha reciclagem no saber como o Prof. Dr. Marcel Olivier de Oliveira, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cristina Angel de Alvarez e Prof. Dr. Adelmo Inácio Bertolde.

## RESUMO

PAGANI, A. **Aderência de revestimento de argamassa em bloco de concreto celular autoclavado**, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – UFES, Vitória, 2012.

O presente trabalho tem por objetivo aprofundar os estudos relativos à aderência de revestimento de argamassa em bloco de concreto celular autoclavado. Dentre os materiais usados nas vedações, o bloco de concreto celular autoclavado é o que possui o menor índice de transmitância térmica e a menor densidade, qualificando-o ao uso e, acarretando redução nos custos da estrutura das edificações. Pesquisou-se as características do bloco de concreto celular autoclavado como a densidade de massa aparente seca, a resistência à compressão, a absorção inicial e total de água e a resistência de aderência que o substrato consegue suportar. Apesar de ser um estudo em laboratório, adotou-se soluções que possam ser utilizadas nos canteiros das obras, como a limpeza do substrato com jato de água para eliminação de poeiras que possam prejudicar a aderência, a molhagem da argamassa de revestimento com água, após 12 horas do início de sua cura, para evitar a evaporação precoce da água da argamassa de revestimento e a molhagem do substrato antes do assentamento da argamassa de revestimento.

Foram pesquisadas nas argamassas, em estado fresco, a consistência, a retenção de água, a exsudação, a densidade de massa e o teor de ar incorporado. Nas argamassas, em estado endurecido, a densidade de massa, a resistência à tração na flexão e à compressão e a absorção de água por capilaridade e o coeficiente de capilaridade. No estado assentado no substrato, verificou-se a absorção de água pelo método do cachimbo e a resistência de aderência à tração. Os traços das argamassas pesquisadas tiveram uma variação em cada um de seus componentes (cimento, cal e areia) e a água de amassamento manteve-se constante em relação à quantidade de areia observando-se uma pequena variação no índice de consistência. Os resultados dos ensaios comprovaram que a resistência de aderência à tração que os blocos de concreto celular autoclavado suportam estão além dos limites preconizados por norma para aderência à tração dos revestimentos

e que os tratamentos de lavagem e molhagem das superfícies dos blocos de concreto celular autoclavado melhoram a aderência das argamassas aos substratos.

## ABSTRACT

PAGANI, A. **Adherence of mortar coating to autoclaved aerated concrete blocks**, Dissertation (Master's Program in Civil Engineering). Civil Engineering Postgraduate Program – UFES, Vitória, Brazil, 2012.

This study aims at deepening investigations on adherence of mortar coats to autoclaved aerated concrete block. Among the materials used for sealing, autoclaved aerated concrete block is the one with the lowest thermal transmittance rate and lowest density, which qualifies it to be employed and also lead to reduction in costs of building structures. We investigated characteristics of autoclaved aerated concrete blocks such as apparent dry density, compressive strength, water initial and total absorption, and substrate adherence strength. Although it is a laboratorial test, we adopted solutions that can be used in the construction site, such as water spray-washing the substrate to eliminate dust that can compromise adherence; wetting coat mortar with water 12 hours after curing begins so as to avoid early evaporation of water; and wetting substrate before applying coat mortar.

Fresh state mortar consistency, water retention, exudation, mass density and air content were investigated. For hardened mortars, mass density, bending tensile strength, compressive strength, wicking and wicking coefficient were assessed. In its fixed state, substrate was assessed for water absorption through pipe method and pull-off adherence strength. Study mortar mixes had variations in each of their components (cement, lime and sand) and mixing water was constant in relation to the amount of sand, with a small variation in the consistency rate. Test results showed that pull-off adherence strength that autoclaved aerated concrete blocks can stand is higher than those set by coating adherence standards, and that washing and wetting treatments of autoclaved aerated concrete blocks improve adherence of mortars to substrates.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classes, resistência à compressão e densidade de massa aparente seca .....	24
Tabela 2.2 – Velocidade de compressão .....	25
Tabela 2.3 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única .....	38
Tabela 3.1 – Resultados de caracterização dos blocos de CCA .....	43
Tabela 3.2 – Análise química e física do cimento Portland CP III 40 RS .....	45
Tabela 3.3 – Massa unitária e específica do cimento CP III 40 RS .....	45
Tabela 3.4 – Análise química e física da cal hidratada CH I .....	46
Tabela 3.5 – Massa unitária e específica da cal hidratada CH I .....	46
Tabela 3.6 – Massa unitária da areia .....	46
Tabela 3.7 – Massa específica da areia .....	47
Tabela 3.8 – Granulometria da areia .....	47
Tabela 3.9 – Teor de umidade da areia .....	48
Tabela 3.10 – Curva de inchamento da areia .....	48
Tabela 3.11 – Resumo da caracterização física da areia .....	49
Tabela 3.12 – Argamassas pesquisadas .....	50
Tabela 3.13 – Tratamentos pesquisados .....	50
Tabela 3.14 – Identificação da parede revestida com argamassa .....	53
Tabela 4.1 – Resultados da caracterização das argamassas no estado fresco .	57
Tabela 4.2 – Resultado da caracterização das argamassas no estado endurecido .....	65
Tabela 4.3 – Resultados da caracterização das argamassas no estado assentado em substrato .....	71
Tabela 4.4 – Tratamento estatístico das resistências de aderência .....	75

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Extração e transporte de areia .....	20
Figura 2.2 – Mistura da areia e sobras com água .....	21
Figura 2.3 – Forma de moldagem da argamassa .....	21
Figura 2.4 – Início da reação química .....	22
Figura 2.5 – Término da reação química .....	22
Figura 2.6 – Pré-cura da argamassa .....	22
Figura 2.7 – Desforma e corte dos blocos .....	23
Figura 2.8 – Cura dos blocos na autoclave .....	23
Figura 2.9 – Estocagem dos blocos de CCA .....	24
Figura 2.10 – Forma de ruptura para um sistema de revestimento sem chapisco .....	38
Figura 2.11 – Forma de ruptura para um sistema de revestimento com chapisco .....	39
Figura 3.1 – Capeamento dos blocos de CCA .....	41
Figura 3.2 – Rompimento dos blocos de CCA .....	42
Figura 3.3 – Bloco de CCA rompido .....	42
Figura 3.4 – Sala de cura .....	51
Figura 3.5 – Absorção de água .....	51
Figura 3.6 – Molhagem dos blocos de CCA .....	52
Figura 3.7 – Furação dos corpos de prova .....	54
Figura 3.8 – Colação das pastilhas .....	55
Figura 3.9 – Absorção de água pelo método do cachimbo .....	56
Figura 4.1 – Espalhamento da argamassa na mesa de consistência .....	58
Figura 4.2 – Retenção de água .....	59
Figura 4.3 – Becker usado para determinação da exsudação .....	61
Figura 4.5 – Determinação da resistência à tração na flexão .....	67

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 – Resistência à tração versus relação cal/materiais secos .....	29
Gráfico 3.1 – Curva granulométrica da areia do rio Doce .....	47
Gráfico 3.2 – Curva de inchamento da areia .....	49
Gráfico 4.1 – Consistência em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	58
Gráfico 4.2 – Retenção de água em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	60
Gráfico 4.3 – Exsudação em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	62
Gráfico 4.4 – Densidade de massa no estado fresco em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	63
Gráfico 4.5 – Teor de ar incorporado em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	64
Gráfico 4.6 – Densidade de massa em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	66
Gráfico 4.7 – Resistência à tração na flexão em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	67
Gráfico 4.8 – Resistência à compressão em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	68
Gráfico 4.9 – Absorção de água por capilaridade aos 10 minutos, em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	69
Gráfico 4.10 – Absorção de água por capilaridade aos 90 minutos, em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	69
Gráfico 4.11 – Coeficiente de capilaridade em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia .....	70
Gráfico 4.12 – Absorção de água pelo método do cachimbo em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia.	72
Gráfico 4.13 – Aderência à tração para paredes sem tratamento em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia	73
Gráfico 4.14 – Aderência à tração para as paredes com tratamento em função do tipo de tratamento .....	73

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	OBJETIVOS E HIPÓTESES .....	14
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	15
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1	BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO .....	17
2.1.1	<b>Composição</b> .....	18
2.1.1.1	Pó de Alumínio .....	18
2.1.1.2	Água oxigenada com cloreto de cal .....	19
2.1.1.3	Carbureto de cálcio .....	20
2.1.2	<b>Fabricação do bloco de concreto celular Autoclavado</b> .....	20
2.1.3	<b>Classificação dos blocos de concreto celular autoclavado</b> ..	24
2.1.4	<b>Caracterização dos blocos de concreto celular autoclavado</b>	24
2.1.4.1	Resistência à compressão .....	25
2.1.4.2	Densidade de massa aparente seca .....	25
2.1.4.3	Porosidade e capilaridade .....	26
2.1.4.4	Resistência de aderência à tração .....	27
2.2	<b>ARGAMASSAS</b> .....	28
2.2.1	<b>Materiais constituintes das argamassas mistas</b> .....	28
2.2.1.1	Cimento Portland .....	28
2.2.1.2	Cal hidratada .....	29
2.2.1.3	Agragado miúdo .....	30
2.2.2	<b>Propriedades das argamassas no estado fresco</b> .....	30
2.2.2.1	Consistência, plasticidade e trabalhabilidade .....	31
2.2.2.2	Retenção de água .....	32
2.2.2.3	Exsudação .....	33
2.2.2.4	Densidade de massa no estado fresco e teor de ar Incorporado .....	34
2.2.3	<b>Propriedades das argamassas no estado endurecido</b> .....	35
2.2.3.1	Resistência à tração na flexão e à compressão .....	35
2.2.3.2	Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade .....	36
2.2.4	<b>Propriedades das argamassas no estado assentado em substrato</b> .....	36
2.2.4.1	Absorção de água pelo método do cachimbo .....	36
2.2.4.2	Resistência de aderência à tração .....	37
2.3	<b>TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS</b> .....	39
2.3.1	<b>Análise de regressão</b> .....	39
2.3.2	<b>Análise de variância</b> .....	40
3	<b>MATERIAIS E PROCEDIMENTOS</b> .....	41
3.1	BLOCO E CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO .....	41
3.2	CIMENTO PORTLAND .....	45
3.3	CAL HIDRATADA .....	46
3.4	AGREGADO MIÚDO .....	46

3.5	ARGAMASSA .....	49
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	57
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO .....	57
4.1.1	<b>Consistência</b> .....	58
4.1.2	<b>Retenção de água</b> .....	59
4.1.3	<b>Exsudação</b> .....	61
4.1.4	<b>Densidade de massa no estado fresco</b> .....	63
4.1.5	<b>Teor de ar incorporado</b> .....	64
4.2	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO.....	65
4.2.1	<b>Densidade de massa no estado endurecido</b> .....	65
4.2.2	<b>Resistência à tração na flexão e à compressão</b> .....	66
4.2.3	<b>Absorção de água por capilaridade e coeficiente de Capilaridade</b> .....	68
4.3	CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ASSENTADO EM SUBSTRATO .....	71
4.3.1	<b>Absorção de água pelo método do cachimbo</b> .....	71
4.3.2	<b>Resistência de aderência à tração</b> .....	72
4.3.3	<b>Tratamento estatístico dos dados</b> .....	75
5	<b>CONCLUSÕES</b> .....	76
6	<b>SUGESTÕES</b> .....	78
7	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	79
	<b>ANEXOS</b> .....	83
	<b>Anexo A-Characterização do bloco de concreto celular C25</b> .....	83
	<b>Anexo A-Characterização do bloco de concreto celular C45</b> .....	84
	<b>Anexo B-Resultados das argamassas no estado fresco</b> .....	85
	<b>Anexo C-Resultados das argamassas no estado endurecido</b> .....	86
	<b>Anexo D-Resultados das argamassas no estado assentado no substrato</b> .....	90

# 1 INTRODUÇÃO

O tema desenvolvido nesta pesquisa tem vinculação paralela com a área de desempenho das edificações normalizado pela NBR 15220-2 (ABNT, 2005e), do Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações (PROCEL EDIFICA) desenvolvido pelo governo federal com o objetivo de certificar as edificações comerciais, públicas e privadas com o selo PROCEL, sendo um dos quesitos a transmitância térmica das paredes e coberturas das edificações.

Com a introdução por parte do governo federal do PROCEL EDIFICA, foram desenvolvidos o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), o Regulamento de Avaliação de Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RAC-C) e o Manual para Aplicação do RTQ-C que permitem à edificação a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) concedido pelo Inmetro.

Para a obtenção da ENCE, são avaliados para as novas edificações o projeto e a obra após sua conclusão (para verificação da execução do projeto aprovado); e para as edificações antigas, as adequações às novas regras através de laboratórios de inspeção designados ou certificados pelo Inmetro (BRASIL, 2009a).

Nas edificações, são avaliados a envoltória (peso de 30% no geral), o sistema de iluminação (peso de 30% no geral), o sistema de refrigeração (peso de 40% no geral) e é concedida uma bonificação no sistema hidráulico e outros que comprovem a redução de consumo de energia, recebendo classificação A (mais eficiente) a E (menos eficiente) cada sistema isoladamente, sendo concedida também uma classificação geral do edifício. No sistema envoltória, é avaliada a transmitância térmica da cobertura e das paredes externas, as cores e absorvância de superfícies e a iluminação zenital (BRASIL, 2009b).

O cálculo da transmitância térmica é normalizado através da NBR 15220-2 (ABNT, 2005e) – **Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator**

**solar de elementos e componentes de edificações** que em sua tabela B.3 mostra que a condutividade térmica ( $\lambda$ ) do concreto celular autoclavado é de 0,17W/m.K (o menor entre os materiais utilizados nas vedações e lajes pré- moldadas) e seu calor específico igual a 1,00 KJ/Kg.K.

De acordo com a NBR 13438 (ABNT, 1995a) que mostra a baixa transmitância térmica e densidade do bloco de concreto celular autoclavado, este bloco torna-se um material que atende aos novos conceitos aplicados e também contribui na redução de carga na estrutura das edificações, ocasionando economia nas obras. Porém, existe questionamento por parte de diversos pesquisadores a respeito da aderência das argamassas de revestimento a esse tipo de substrato (bloco de concreto celular autoclavado), motivo do desenvolvimento desta pesquisa.

A utilização do bloco de concreto celular autoclavado como elemento de pesquisa é destacado nos trabalhos de Carasek (1996) e Petrauski, Taube e Gava (2003).

Barnett (2005) em artigo publicado no International Building Lime Symposium, relata a produção, as propriedades e a utilização de peças em concreto celular autoclavado na construção civil, sendo também questionada a aderência de argamassas de revestimento.

Nestes trabalhos observou-se ausência da caracterização e classificação dos blocos de concreto celular autoclavado utilizados nos trabalhos acima citados, dificultando uma melhor análise dos dados coletados e, conseqüentemente, um estudo comparativo entre eles.

## **1.1 OBJETIVOS E HIPÓTESE**

O objetivo geral deste trabalho é verificar se a aderência das argamassas de revestimentos ao substrato bloco de concreto celular autoclavado atende à NBR 13528 (ABNT, 2010) – Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração.

O objetivo específico é ampliar os conhecimentos da aderência das argamassas de revestimento ao bloco de concreto celular autoclavado e aumentar o conhecimento das características desses blocos.

A hipótese levantada é que o tratamento de limpeza da superfície do bloco de concreto celular autoclavado com jato de água leva a uma melhora na aderência da argamassa de revestimento.

## **1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está composta de seis capítulos em que, no primeiro capítulo, mostra-se a importância do uso do bloco de concreto celular autoclavado na construção civil. Os pesquisadores é que atuaram diretamente sobre o assunto, os objetivos e hipótese e a estrutura adotada na pesquisa.

No segundo capítulo, apresenta-se uma revisão da literatura relativa à composição química, classificação e fabricação dos blocos de concreto celular autoclavado, dos materiais constituintes e das propriedades das argamassas e estudos estatísticos empregados.

No capítulo três, descrevem-se os materiais e procedimentos adotados nesta pesquisa como a caracterização dos blocos de concreto celular autoclavado, do cimento Portland, da cal hidratada e do agregado miúdo, da escolha dos traços das argamassas de revestimento e tratamentos propostos.

No capítulo quatro, são apresentados os resultados e discussões das caracterizações das argamassas no estado fresco, endurecido e assentado em substrato.

No capítulo cinco, são apresentadas as conclusões obtidas e, no capítulo seis, as sugestões para novas pesquisas.

Após o capítulo seis, encontram-se as referências e os anexos com os resultados individuais das caracterizações dos blocos e das argamassas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Comercialmente, tem-se divulgado, através de encartes, assuntos pertinentes às vantagens da utilização do bloco de concreto celular autoclavado nas obras (CCA) como sua baixa densidade e sua baixa transmitância acústica e térmica. Academicamente, poucas pesquisas foram desenvolvidas.

Carasek (1996) avaliou a resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento em blocos de CCA. As argamassas de revestimento misturadas na obra, com traço em volume 1:1/4:3 (cimento, cal, areia úmida) apresentaram tensões de ruptura acima de 0,30 MPa, a argamassa com traço em volume 1:2:9 (cimento, cal, areia úmida) praticamente não houve aderência (0,10 MPa o maior valor de aderência) e para o traço em volume 1:0:3 apresentaram 12 valores dos 28 ensaios pesquisados acima de 0,20 MPa e 15 acima de 0,30 MPa. Nesta mesma pesquisa, dos 3 tipos de argamassas industriais pesquisados, as que foram aplicadas em substrato seco apresentaram valores acima de 0,30 MPa e as que foram assentadas em substratos úmidos, duas argamassas apresentaram valores abaixo de 0,20 MPa e uma apresentou valores acima de 0,20 MPa.

No trabalho desenvolvido por Petruski et al. (2003), foi empregado o traço 1:1,66:6,77 (materiais secos em massa) feito em obra, aplicados sobre chapisco 1:3 (cimento:areia) e o valor médio de resistência de aderência à tração foi de 0,18MPa; já para a argamassa industrializada aplicada ao substrato (bloco de concreto celular), sem chapisco, a média foi de 0,17 MPa.

A NBR 13749 (ABNT, 1996) determina que a resistência de aderência à tração para tetos e paredes internas para pintura ou base para reboco seja maior ou igual a 0,20 MPa e, para os demais casos, maior ou igual a 0,30 MPa.

Alguns fabricantes de argamassas industrializadas indicam a utilização de seu produto com a molhagem do substrato antes do assentamento ou a utilização de argamassa de revestimento feito em obra com traço em volume 1:2:9 (cimento, cal, areia úmida) para revestimentos internos, e traço em volume 1:1:6 (cimento, cal, areia úmida) para revestimentos externos aplicados sobre chapisco 1:3 (cimento, areia úmida).

Os traços das argamassas feitas em obra e utilizados nas pesquisas citadas acima, não foram coerentes e alguns não alcançaram os valores recomendados pela ABNT. Para se ter uma garantia dos trabalhos a serem realizados nas obras, mais estudos sobre novos traços e tratamentos devem ser realizados.

## **2.1 BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO**

Os blocos de CCA estão classificados como concreto poroso e, juntamente com os concretos com agregados leves e concretos com agregados sem finos, estão agrupados como concretos leves do grupo dos concretos especiais (PETRUCCI, 1980).

São concretos que se caracterizam por sua baixa massa específica aparente em relação aos concretos normais, tendo como valor máximo  $2.000 \text{ Kg/m}^3$  e elevado isolamento térmico, sendo que uma parede de 10 cm de blocos de CCA equivale a uma parede de 25 cm de tijolo cerâmico ou a uma de 30 cm de bloco de concreto (RIPPER, 1995).

Os concretos porosos, aerados ou celulares são obtidos com a formação de vazios em seu interior, produzidos pela formação de um gás na mistura, por reação química, ou adição de espuma ou agente produtor de espuma, que fica estável no interior da massa (PETRUCCI, 1980).

Com uma densidade aparente seca variando de  $450$  a  $650 \text{ kg/m}^3$ , determinada conforme NBR 13440 (ABNT, 1995c), em relação aos demais materiais, utilizados nas vedações das edificações, os quais possuem massa específica seca que varia de  $1.280 \text{ kg/m}^3$  do bloco sílico-calcário a  $2.090 \text{ kg/m}^3$  do bloco de concreto (CARASEK, 1996), os blocos de CCA permitem uma diminuição nas cargas das estruturas. São comercializados nas dimensões de  $30 \times 60 \text{ cm}$  com espessura que se inicia em  $7,5 \text{ cm}$  e com acréscimos de  $2,5 \text{ cm}$ . Devido às suas dimensões e ao seu baixo peso, verifica-se uma redução na utilização da mão de obra e do consumo de argamassa de assentamento, o que torna a alvenaria de bloco de CCA mais econômica.

Devido à sua constituição porosa, os blocos de CCA possuem um ótimo isolamento acústico, contribuindo assim para um melhor conforto habitacional.

O uso do CCA teve origem na Suécia, em 1924, devido a sua principal característica: a boa isolamento térmica (MOTA, 2001).

A produção do CCA no Brasil teve início em 1957, através da PUMEX, hoje SIPOREX - Concreto Celular Autoclavado Ltda., sediada em Ribeirão Pires – São Paulo.

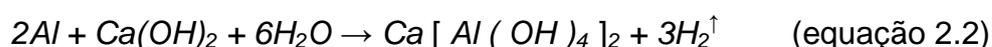
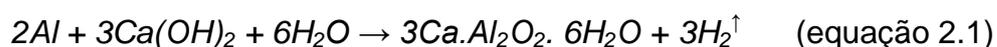
Além da SIPOREX, o bloco de CCA é fabricado pela PRECON Industrial SA, com sede em Belo Horizonte – Minas Gerais, e a CELUCON Concreto Celular com sede em Santa Catarina.

### 2.1.1 Composição

Os principais agentes formadores de gás no interior dos concretos celulares, aerados ou gasosos são o pó de alumínio, água oxigenada com cloreto de cal e carbureto de cálcio.

#### 2.1.1.1 Pó de alumínio

Para o preparo do bloco de CCA, o pó de alumínio utilizado deve ser muito fino, passado na peneira nº 200 (superfície específica Blaine de 4.600 a 6.000 cm<sup>2</sup>/g) para gerar a maior quantidade de gás. A reação do pó de alumínio com a cal e água, gera aluminato de cálcio que desprende hidrogênio de acordo com as equações 2.1 e 2.2 (PETRUCCI, 1980).



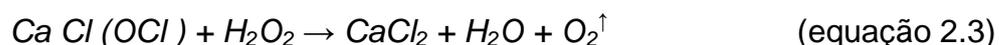
O agregado a ser utilizado também deve ser muito fino, sendo sua dimensão máxima de 1,2 mm com 80%, passado na peneira 0,3 mm, e ter uma superfície específica Blaine de aproximadamente 2.000 cm<sup>2</sup>/g (PETRUCCI, 1980).

A quantidade de pó de alumínio a ser adicionada à mistura deve variar de 0,2 a 0,5% do peso do cimento, o qual determina sua porosidade, densidade e resistência, indicando a utilização que se deseja do concreto produzido. A dosagem desse concreto é feita de forma totalmente experimental, variando em massa o cimento e a areia de 1:0 (pasta pura) até 1:4; a geração de gás, no interior da argamassa, pode chegar a 85% do volume de vazios (PETRUCCI, 1980).

Segundo Barnett (2005), após duas horas do lançamento da argamassa no molde, a reação do pó de alumínio com a cal está completa, sendo então retirado do molde, recortado e colocado em autoclave por doze horas para completar a cura.

### 2.1.1.2 Água oxigenada com cloreto de cal

Os materiais utilizáveis são os comerciais, sendo a água oxigenada a 40% (quarenta volumes) e o cloreto de cal com 30% de cloro ativo. A reação da água oxigenada com o cloreto de cal resulta em cloreto de cálcio mais água e desprende oxigênio conforme equação 2.3.

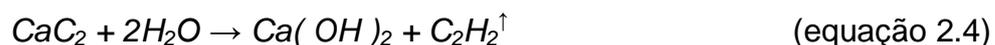


Inicialmente prepara-se o leite de cal na proporção em massa de 1:1,5 (cloreto de cal:água) adicionando-se uma parte em massa de água oxigenada para 6 a 9 partes de leite de cal.

O traço da argamassa empregada em peso é de 1:2 (aglomerante:agregado miúdo) podendo o aglomerante ser constituído de cimento ou de cal ou de ambos e gerar um índice de vazios de cerca de 66% (PETRUCCI, 1980).

### 2.1.1.3 Carbureto de cálcio

Sendo o menos usado, o carbureto de cálcio,  $\text{CaC}_2$ , reagindo com a água formando hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) e liberando acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2^\uparrow$ ) conforme equação 2.4 (PETRUCCI, 1980).



### 2.1.2 Fabricação do bloco de concreto celular autoclavado

Em visita à fábrica de bloco de CCA, observou-se que o processo de fabricação tem início com a extração e transporte da areia (figura 2.1), através de correia transportadora, para a secagem e seleção através de peneiramento.

Figura 2.1 – Extração e transporte da areia



Fonte: o autor

O material selecionado é transferido para um agitador no qual recebe a água e as sobras do corte do bloco para que sejam homogeneizados (Figura 2.2).

Figura 2.2 – Mistura da areia e sobras com água



Fonte: o autor

O material homogeneizado é transportado para uma central de mistura e recebe cimento, cal, pó de alumínio e aditivos, devidamente dosados em função do tipo de bloco a ser produzido, e é despejado nas formas (figura 2.3). Essas formas estão apoiadas em vagonetes que permitem o deslocamento do concreto no interior da fábrica.

Figura 2.3 – Forma de moldagem da argamassa



Fonte: o autor

Imediatamente após a conclusão do despejo da mistura na forma, tem início o processo de reação química do pó de alumínio com a cal e a água com a formação de aluminato de cálcio o qual desprende hidrogênio, sendo este o responsável pela formação dos poros que dão forma, densidade e resistência ao bloco de CCA (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Início da reação química



Fonte: o autor

Na figura 2.5 pode-se observar o término da expansão da mistura.

Figura 2.5 – Término da reação química



Fonte: o autor

Aproveitando a liberação do calor gerado na reação química do cimento, as formas que contêm a massa de concreto são estocadas por um período em câmaras construídas com bloco de CCA (figura 2.6) nas quais acontece a pré-cura do concreto até atingir uma determinada densidade.

Figura 2.6 – Pré-cura da argamassa



Fonte: o autor

Após a pré-cura, são retiradas as laterais da forma (Figura 2.7) e iniciam-se os cortes com serras de fio de aço inoxidável. Essas serras são confeccionadas com dentes em aço inox prensados ao fio.

Figura 2.7 – Desforma e corte do bloco



Fonte: o autor

Por apresentar o concreto em sua camada superior um material pouco homogêneo, é feita a sua extração, limitando em 60 cm de altura do concreto e os cortes longitudinais, perfazendo quatro fieiras de 30 cm e duas sobras laterais, as quais são também descartadas.

Após os cortes, são retiradas as sobras, iniciam-se os cortes transversais os quais definem a espessura que os blocos terão. Os mais comercializados são os de 10 e 15 cm de espessura, porém podem ser fabricados na espessura solicitada. Nessa etapa, os lotes de blocos são marcados para que sejam verificadas futuras irregularidades que porventura possam ocorrer no processo de fabricação. Todas as sobras são encaminhadas para o agitador (figura 2.2) para serem reaproveitadas.

As formas são empilhadas duas a duas e em linha de três vagonetes e colocadas no interior da autoclave, por um período de 18 horas a uma pressão de 10 bares, para que seja completada a cura do concreto (figura 2.8).

Figura 2.8 – Cura dos blocos na autoclave



Fonte: o autor

Após a cura, os blocos de CCA são retirados das autoclaves e transportados, ainda quentes, para o pátio de estocagem onde aguardam o transbordo para os locais de revenda (Figura 2.9).

Figura 2.9 – Estocagem dos blocos de CCA



Fonte: o autor

### 2.1.3 Classificação dos blocos de concreto celular autoclavado

Os blocos de CCA são classificados de acordo com a norma NBR 13438 (ABNT, 1995<sup>a</sup>) em função da resistência à compressão e densidade de massa aparente seca (tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Classes, resistência à compressão e densidade de massa aparente seca

Classe	Resistência à compressão (seca)		Densidade de massa aparente seca
	Valor médio mínimo (MPa)	Menor valor isolado (Mpa)	Média (kg/m <sup>3</sup> )
C 12	1,2	1,0	≤ 450
C 15	1,5	1,2	≤ 500
C 25	2,5	2,0	≤ 550
C 45	4,5	3,6	≤ 650

Fonte: NBR 13438 (ABNT, 1995<sup>a</sup>)

### 2.1.4 Caracterização dos blocos de concreto celular autoclavado

Para melhor compreensão do comportamento dos blocos de CCA, pesquisou-se, além dos ensaios previstos nas normas brasileiras, a absorção de água e a aderência à tração máxima que os revestimentos conseguem se fixar aos mesmos.

### 2.1.4.1 Resistência à compressão

Os índices de resistência à compressão dos blocos de CCA, são determinados de acordo com a norma NBR 13439 (ABNT, 1995b).

Para execução do ensaio, são extraídos dois corpos de prova cúbicos de cada bloco, sempre equidistantes das laterais e do comprimento do bloco e entre eles; sendo que para blocos com espessuras menores de 100 mm, os corpos de prova deverão ter 75 mm de aresta, e para os blocos, com espessuras maiores ou iguais a 100 mm, os corpos de prova deverão ter arestas iguais a 100 mm.

Após a retirada dos corpos de prova, retificar todas as superfícies, medir suas dimensões e secar os corpos de prova em estufa à temperatura de  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$  até que, em duas pesagens consecutivas, a diferença de massa seja menor ou igual a 1g.

As superfícies a serem comprimidas são capeadas com pasta de cimento ou enxofre. Após o capeamento, recebem carga até sua ruptura, sendo a velocidade de compressão conforme tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Velocidade de compressão

Classe	Velocidade de compressão
C 12	
C 15	0,05 MPa/s
C 25	
C 45	0,10 Mpa/s

Fonte: NBR 13439 (ABNT, 1995b)

### 2.1.4.2 Densidade de massa aparente seca

A densidade de massa aparente seca dos blocos de CCA é medida de acordo com a norma NBR 13440 (ABNT, 1995c).

Para extração dos corpos de prova, são seguidas as mesmas recomendações descritas no item 2.1.4.1, e para determinação das dimensões de cada face do cubo são medidas, no centro de cada aresta, as quatro alturas sendo feita a média aritmética dessas leituras.

Após medidos, os corpos de prova são secos em estufa à temperatura de  $(105 \pm 5)$  °C até que, em duas pesagens consecutivas, a diferença de massa seja menor ou igual a 1g.

Concluída a secagem, os corpos de prova são pesados sendo calculados os volumes e determinadas as suas densidades.

### **2.1.4.3 Porosidade e capilaridade**

A porosidade é a relação entre o volume de vazios e o volume total do material; e a capilaridade é a capacidade de sucção da água pelo substrato.

A porosidade e a capilaridade são as propriedades dos substratos de maior influência na aderência das argamassas (CARASEK, 1996). A sucção inicial da pasta aglomerante da argamassa pelos poros do substrato confere a aderência mecânica entre ambos.

Os materiais, de forma geral, apresentam poros abertos e fechados com diâmetros variados, sendo o micro poro com diâmetro  $< 0,1 \mu\text{m}$ ; o poro capilar com diâmetro  $\geq 0,1 \mu\text{m}$  e  $\leq 20 \mu\text{m}$  e o macro poro com diâmetro  $> 20 \mu\text{m}$  (CEB, 1993, apud CARASEK, 1996 e MEHTA; MONTEIRO, 2008), sendo os poros abertos de diâmetro capilar os de maior interesse na aderência das argamassas, uma vez que permitem a sucção da pasta aglomerante.

Segundo Carasek (1996), a absorção da água inicial é muito mais importante para a aderência do que a capacidade total de absorção do substrato, que se caracteriza pela imersão total do corpo de prova em água por um período de 24 horas.

Devido à falta de normas que determinem o índice de absorção de água (total) e de absorção de água inicial para blocos de CCA, usou-se o prescrito na norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005h) que consiste na extração, secagem e medição de corpos de prova conforme descrito em 2.1.3.

Para verificar a absorção de água (total), os corpos de prova são pesados e imersos totalmente em água por um período de 24 horas. Após esse período, é retirado o

excesso de água dos corpos de prova com um pano úmido, sendo pesados novamente para verificar o percentual de água que foi absorvido.

Para verificar a absorção inicial de água, é preparado um recipiente com calços de apoio para os corpos de prova. Coloca-se água a  $\pm 5$  mm acima da face superior dos calços de apoio, apoiando-se os corpos de prova nestes calços por um período de 60 segundos, retira-se os corpos de prova da água enxugando o excesso de água com um pano úmido, passando-se à verificação de sua massa.

#### **2.1.4.4 Resistência de aderência à tração**

Com o objetivo de verificar a aderência que os blocos de CCA fixam os revestimentos assentados em sua superfície e devido à falta de normalização para tal determinação, foi utilizado o prescrito na norma NBR 13528 (ABNT, 2010) – ***Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração***, para verificação da referida resistência.

Para execução deste teste, dez corpos de prova foram preparados diretamente na superfície do bloco de CCA.

Conforme prescrito na NBR 13528 (ABNT, 2010), perfura-se com uma serra copo de 50 mm de diâmetro interno e 5 mm de profundidade os corpos de prova e mantém-se um espaçamento mínimo de 50 mm entre os furos.

Limpa-se a superfície com um pincel para retirada do excesso de pó e cola-se em cada corpo de prova uma pastilha de aço de 50 mm de diâmetro.

Após 24 horas da colagem, as pastilhas foram arrancadas com auxílio de uma máquina de extração, sendo medida a carga de ruptura e verificado o local da ruptura para o cálculo da resistência de aderência à tração de cada corpo de prova, sendo verificada também, a média entre elas.

## **2.2 ARGAMASSAS**

As argamassas são constituídas essencialmente de aglomerantes e/ou cal e agregados miúdos (SILVA, 2006).

### **2.2.1 Materiais constituintes das argamassas mistas**

#### **2.2.1.1 Cimento Portland**

Descoberto em 1824 pelo pedreiro Joseph Aspdin, esse aglomerante foi patenteado com o nome de Cimento Portland, em referência a uma pedra muito usada na região de Portland, na Inglaterra, de nome Portlandstone (TAYLOR, 1967 apud SILVA, 2006).

A resistência de aderência é atribuída ao cimento (CARASEK, 1996), que tem a finura como a propriedade de maior influência. Quanto mais fino o cimento, mais rápida será sua reação com a água e, com ela, sua resistência (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Segundo esses autores, além do vapor de água e da água encontrada nos poros vazios da pasta de cimento hidratada, encontra-se também água capilar nos vazios maiores de 50Å; a água adsorvida que fica próxima à superfície do sólido; a água interlamelar retida entre os grãos sólidos e a água quimicamente combinada que integra a microestrutura dos produtos de hidratação do cimento.

A água capilar, ao criar os poros na pasta de cimento hidratada, reduz as superfícies de contato dos cristais do cimento. A existência das forças de atração de Van der Walls entre duas superfícies sólidas é que determina a resistência da pasta de cimento hidratada. Com o aumento da proporção água/cimento verifica-se um aumento dos poros da pasta de cimento hidratada e uma redução na sua resistência (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

### 2.2.1.2 Cal hidratada

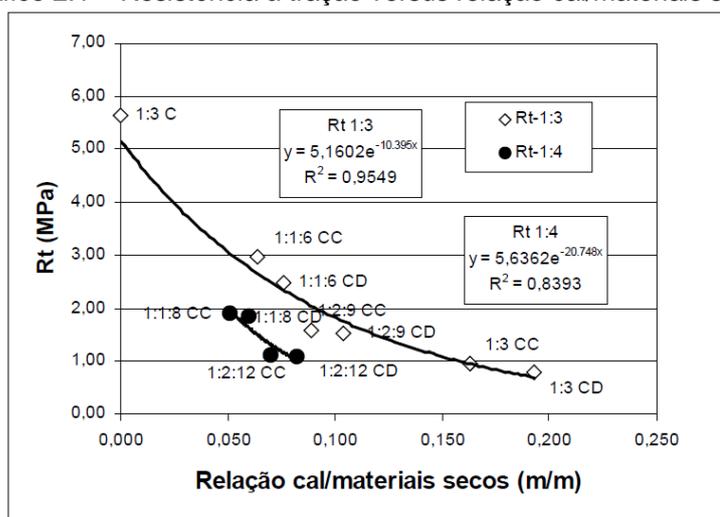
Segundo Guimarães (1997), o homem conheceu a cal provavelmente nos primórdios da Idade da Pedra (período Paleolítico).

As cales são provenientes dos depósitos calcários, dolomíticos ou das conchas que, quando aquecidos à temperatura próxima de 1000° C, transformam o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) em óxido de cálcio (CaO) produzindo a cal virgem, pela perda de parte dos seus constituintes (anidrido carbônico – CO<sub>2</sub>) (GUIMARÃES, 1997).

Segundo a NBR 7175 (ABNT, 2003a, p.2), a cal hidratada é um “pó obtido pela hidratação da cal virgem, constituída essencialmente de uma mistura de hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio, ou ainda, de uma mistura de hidróxido de cálcio, hidróxido de magnésio e óxido de magnésio”.

Quarcioni e Cincotto (2005), mostraram que a resistência à compressão nas argamassas com dosagens somente com cal na proporção de 0:1:3 em volume, equivale a menos de 5% das mesmas dosagens somente com cimento (1:0:3); e em iguais proporções, a resistência à tração na flexão (Gráfico 2.1) equivale a menos de 16%.

Gráfico 2.1 – Resistência à tração versus relação cal/materiais secos



Fonte: Quarcioni e Cincotto (2005)

C = cimento Portland; CC = cal hidratada cálcica;

CD = cal hidratada dolomítica

Boynton e Gutschick (1964) citados por Guimarães (1997), mostraram que em uma argamassa (cimento+cal):areia na proporção 1:3 em volume, à medida em que se

reduz o percentual de cimento e se aumenta o percentual da cal, diminui-se a resistência à compressão e aumenta-se a retenção de água nas argamassas.

### **2.2.1.3 Agregado miúdo**

Dos materiais componentes da argamassa, a areia, por se constituir no esqueleto indeformável da massa, garante a durabilidade da aderência pela redução da retração (CARASEK, 1996).

Argamassa feita com areia muito grossa reduz sua extensão de aderência, enquanto que no uso de areia muito fina, os grãos finos penetram no substrato prejudicando a penetração da pasta aglomerante e a aderência da argamassa ao substrato. As areias ideais são as que possuem distribuição granulométrica contínua com maior módulo de finura (CARASEK, 1996).

Dependendo da composição granulométrica e do teor de umidade, as areias podem sofrer um fenômeno chamado de inchamento que, com 5% de umidade, pode ter um aumento de volume da ordem de 17% para as areias grossas; 29% para as areias médias e 38% para as areias finas (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

## **2.2.2 Propriedades das argamassas no estado fresco**

São as propriedades que definem a qualidade da argamassa na hora de sua aplicação.

Em uma obra, os operários procuram, com sua experiência e sensibilidade, as “massas” (argamassas de revestimentos) que “pegam” (adesão inicial) mais rapidamente na “parede” (substrato); que “puxam” (absorção de água pelo substrato) e evaporam em menor espaço de tempo para poderem “sarafiar” (retirada do excesso da argamassa assentada, planificando o revestimento) e “desempolar” (acabamento final do revestimento) mais rapidamente o reboco, reduzindo, assim, o tempo gasto na tarefa e, conseqüentemente, aumentando sua produção.

Os proprietários das obras querem um revestimento com aderência ao substrato, sem fissuração, com baixa permeabilidade, com resistência e que tenha durabilidade.

Para atender aos quesitos solicitados pelos operários e pelos proprietários, faz-se necessário pesquisar a consistência, a retenção e exsudação da água; o teor de ar incorporado; as resistências à tração na flexão e à compressão e a aderência das argamassas com o objetivo de se produzir argamassas trabalháveis.

### **2.2.2.1 Consistência, plasticidade e trabalhabilidade**

Segundo Cincotto et al. (1995, p. 20) a “consistência é a propriedade da argamassa pela qual ela tende a resistir à deformação” sendo classificadas em argamassas secas, plásticas ou fluidas, com base na situação da película da pasta que envolve o grão do agregado.

O índice de consistência é determinado pela NBR 13276 (ABNT, 2002) que utiliza a mesa para índice de consistência conforme NBR 7215 (ABNT, 1997).

A plasticidade é a propriedade pela qual a argamassa tende a reter a deformação após a redução do esforço a que foi submetida, sendo influenciada pelo teor de ar, natureza e teor do aglomerante e pela intensidade da mistura das argamassas (CINCOTTO et al., 1995).

De acordo com Carasek (1996), a plasticidade é também influenciada pela presença de aditivos.

A plasticidade e a consistência são as propriedades que efetivamente caracterizam a trabalhabilidade que, em termos práticos, significa a facilidade de manuseio por parte do operário que a prepara e a aplica (CINCOTTO et al., 1995).

Uma vez definidos os materiais e o traço da argamassa, sua trabalhabilidade é corrigida pela alteração da água de amassamento, modificando sua consistência e fluidez (CARASEK, 1996).

Outra propriedade importante é a adesão inicial da argamassa no estado fresco que permite a fixação da mesma ao substrato (CINCOTTO et al., 1995).

### 2.2.2.2 Retenção de água

É a capacidade da argamassa fresca de reter a água de amassamento sem alterar sua trabalhabilidade quando exigida, garantindo assim uma melhor hidratação da argamassa e sua resistência de aderência ao substrato.

De acordo com Cincotto et al., (1995), os cimentos que possuem a maior finura, assim como o teor de cal empregado, podem resultar em argamassa com maior retenção de água o que repercute favoravelmente na trabalhabilidade.

Para Bavaresco (2001), retenção de água é a capacidade da argamassa em reter a água de amassamento, mantendo sua consistência, quando submetida a solicitações que provocam perda de água seja por evaporação, sucção ou absorção por uma superfície absorvente.

Calhau (2000, p. 19) afirma que “uma retenção de água adequada pode contribuir para o aumento da resistência de aderência ao evitar que parte da água seja perdida para o substrato e o meio ambiente, evitando, assim, retração por secagem rápida e proporcionando uma cura melhor”.

A determinação da retenção de água, dada pela NBR 13277 (ABNT, 2005<sup>a</sup>), é a razão entre a perda desta água e a quantidade de água usada, sendo determinada pela equação 2.5.

$$Ra = \left[ 1 - \frac{(ma - ms)}{AF(ma - mv)} \right] 100 \quad (\text{Equação 2.5})$$

A relação água/argamassa fresca é dada pela equação 2.6:

$$AF = \frac{mw}{m - mw} \quad (\text{Equação 2.6})$$

onde:

Ra – retenção de água (%)

ma – massa do conjunto com argamassa (g)

ms – massa do conjunto após a sucção (g)

mv – massa do conjunto vazio (g)

AF – é a relação água/argamassa fresca

33W – massa total de água acrescentada à mistura (g)

m – soma das massas dos componentes anidros da argamassa (g)

Louback e Tristão (1999) citados por Calhau (2000) mostram que com o aumento do teor de cal na argamassa, aumenta a retenção de água, melhorando assim a trabalhabilidade e a resistência final.

### **2.2.2.3 Exsudação**

Exsudação é “o fenômeno de separação de parte da água de amassamento de uma argamassa fresca, quando esta é mantida em repouso, sem vibrações ou choque” (BAVARESCO, 2001, p.17).

Mehta e Monteiro (2008, p. 370) afirmam que “a exsudação resulta da incapacidade dos materiais componentes em reterem toda a água de amassamento, em estado disperso, enquanto os sólidos mais pesados se assentam”.

Segundo a MR – 6 da RILEM (apud TRISTÃO, 1995), a água de exsudação é avaliada aos 15, 30, 60, 120 e 240 minutos em amostras distintas em repouso.

De acordo com a NBR 15558 (ABNT, 2008), a exsudação no concreto pode ser aferida com ou sem vibração. No método sem vibração, utiliza-se um recipiente cilíndrico, com diâmetro interno de  $(254 \pm 6)$  mm e altura interna de  $(279 \pm 6)$  mm. Lança-se o concreto no recipiente em três camadas, adensando-o com 25 golpes por camada com a haste de compactação medindo 16 mm de diâmetro por 600 mm de comprimento e ponta abaulada, nivelando sua superfície para que fique plana sem o mínimo de alisamento. Deve-se cobri-lo com um pano úmido durante o processo para evitar evaporação da água. Retirar a água exsudada com uma pipeta

a intervalos de 11 minutos nos primeiros 40 minutos e a intervalos de 30 minutos até não observar água exsudada.

O cálculo é feito através das equações 2.7 e 2.8:

$$m_{ar} = \frac{m_{am}}{m_t} m_e \quad (\text{Equação 2.7})$$

$$E = \frac{m_{ae}}{m_{ar}} 100 \quad (\text{Equação 2.8})$$

Onde:

E – quantidade de água exsudada (%)

$m_{ar}$  – massa de água do concreto do recipiente (g)

$m_t$  – massa total do traço (g)

$m_{am}$  – água de mistura do traço (g)

$m_e$  – massa da amostra ensaiada (g)

$m_{ae}$  – massa da água exsudada (g)

#### 2.2.2.4 Densidade de massa no estado fresco e teor de ar incorporado

Segundo a NBR 13278 (ABNT, 2005b), o teor de ar incorporado (A) é a razão entre a diferença da densidade de massa teórica (dt) menos a densidade de massa no estado fresco (d) pela densidade de massa teórica (dt) que é expressa em porcentagem conforme equação 2.9.

$$A = 100 \left[ 1 - \frac{d}{dt} \right] \quad (\text{Equação 2.9})$$

A densidade de massa, no estado fresco, segundo a NBR 13278 (ANBT, 2005b) é a razão entre a massa e o volume da argamassa conforme equação 2.10.

$$d = \frac{mc - mv}{vr} \quad (\text{Equação 2.10})$$

Onde:

d – densidade de massa da argamassa no estado fresco ( $\text{kg/m}^3$ )

mc – massa do recipiente cilíndrico contendo argamassa (g)

mv – massa do recipiente vazio (g)

vr – volume do recipiente cilíndrico ( $\text{cm}^3$ )

Segundo Carasek (1996 p. 57) “o aumento do teor de ar nas argamassas pode reduzir os pontos de contato da argamassa com o substrato e, conseqüentemente, resultar em uma baixa resistência de aderência”.

### **2.2.3 Propriedades das argamassas no estado endurecido**

São as propriedades determinadas em laboratório que se espera das argamassas de revestimento a serem empregadas nas edificações, podendo-se citar:

#### **2.2.3.1 Resistência à tração na flexão e à compressão**

Segundo Carasek (1996), para um mesmo agregado, com o aumento do consumo de cimento, obteve-se um aumento do índice de resistência à tração na flexão e à compressão e conseqüentemente um aumento do índice de resistência à aderência.

Isberner (1964) e Han e Kishitani (1984) citados por Carasek (1996) afirmam que mantendo fixos os materiais e o traço e aumentando a proporção água/cimento, torna-se a argamassa mais fluida e com maior área de contato no substrato, aumentando a resistência de aderência com diminuição da resistência à compressão.

Segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005c) para cada idade de ruptura, três corpos de prova de dimensões 4 x 4 x 16 cm são moldados de acordo com os moldes prismáticos detalhado na figura A.1 da respectiva norma, os quais são rompidos tanto na tração quanto na compressão.

### **2.2.3.2 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade**

Segundo Sabattini et al., (1998) o revestimento deve ser estanque à água, impedindo a sua percolação e deve ser permeável ao vapor d'água. Os revestimentos são dependentes da natureza da base, da composição e dosagem da argamassa, da técnica de execução, da espessura do revestimento e do acabamento.

Bavareco (2001) define permeabilidade como a passagem da água, através da argamassa, que pode ser ocasionada por infiltração sob pressão, por capilaridade absorvida pelos materiais ou por difusão por vapor d'água.

A NBR 15259 (ABNT, 2005f) determina a absorção de água por capilaridade aos 10 e 90 minutos; e o coeficiente de capilaridade como o coeficiente angular da reta que liga os pontos dos 10 aos 90 minutos. Os blocos são ensaiados aos 28 dias, em três corpos de prova moldados conforme a NBR 13279 (ABNT, 2005c).

### **2.2.4 Propriedades das argamassas no estado assentado em substrato**

São as propriedades que definem a qualidade da argamassa ao longo de sua vida útil.

#### **2.2.4.1 Absorção de água pelo método do cachimbo**

É a propriedade que simula a absorção de água de chuva em uma argamassa de revestimento, no estado assentado, a uma ação de vento com velocidade aproximada de 140 km/h o qual corresponde a uma pressão estática de 92 mm de coluna d'água (CALHAU, 2000).

Com o objetivo de minimizar as dispersões verificadas por alguns autores, Calhau (2000) colocou um anel Oring de borracha ao cachimbo o que limitou a área de contato da água com a argamassa de revestimento.

Fixa-se o cachimbo à argamassa de revestimento com massa de calafetagem, enchendo-o rapidamente com água ao nível zero; dispara-se o cronômetro e a cada minuto, faz-se uma leitura da diminuição do nível da água até completar o tempo de 15 minutos ou o nível da água atingir a leitura de 4 cm<sup>3</sup>.

São realizados três ensaios em cada tipo de argamassa de revestimento e calculado o coeficiente angular da reta de regressão da absorção da água versus tempo que representa a taxa de absorção da argamassa de revestimento em cm<sup>3</sup>/min.

#### **2.2.4.2 Resistência de aderência à tração**

Segundo Sabbatini et al., (1998) aderência é a propriedade de o revestimento manter-se fixo ao substrato, através da resistência às tensões normais e tangenciais, que surgem na interface base/revestimento. Depende das propriedades da argamassa no estado fresco, dos procedimentos de execução do revestimento, da natureza e características da base e de sua limpeza superficial.

Segundo Bavaresco (2001, p. 18) é “a capacidade que a argamassa tem de resistir às tensões normais e tangenciais à superfície de interface entre camadas”.

Carasek (1996) observou que com o aumento do teor de cimento e diferentes condições de umidade inicial do substrato, a resistência de aderência também aumenta.

Existem dois tipos de aderência das argamassas aos substratos. A primeira, no estado fresco, conhecida como adesão inicial, a qual está relacionada diretamente com as características reológicas da pasta aglomerante (VALDEHITA ROSELO, 1976 apud CARASEK, 1996); e a segunda, no estado endurecido, conhecida como aderência propriamente dita que é a mecânica devido à penetração da pasta aglomerante ou da argamassa nos poros do substrato (CARASEK, 1996).

O limite de resistência de aderência à tração é especificado pela NBR 13749 (ABNT, 1996) conforme tabela 2.3.

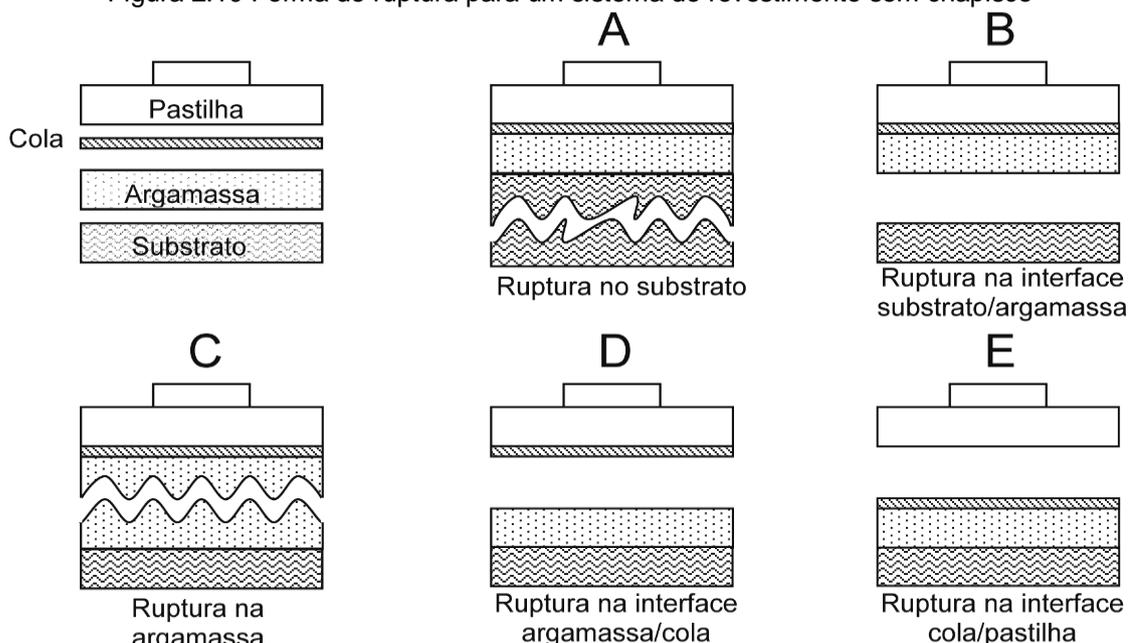
Tabela 2.3: Limites de resistência de aderência à tração (Ra) para emboço e camada única

Local		Acabamento	Ra (Mpa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥0,20
		Cerâmica ou laminada	≥0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥0,30
		Cerâmica	≥0,30
Teto			≥0,20

Fonte: NBR 13749 (ABNT, 1996)

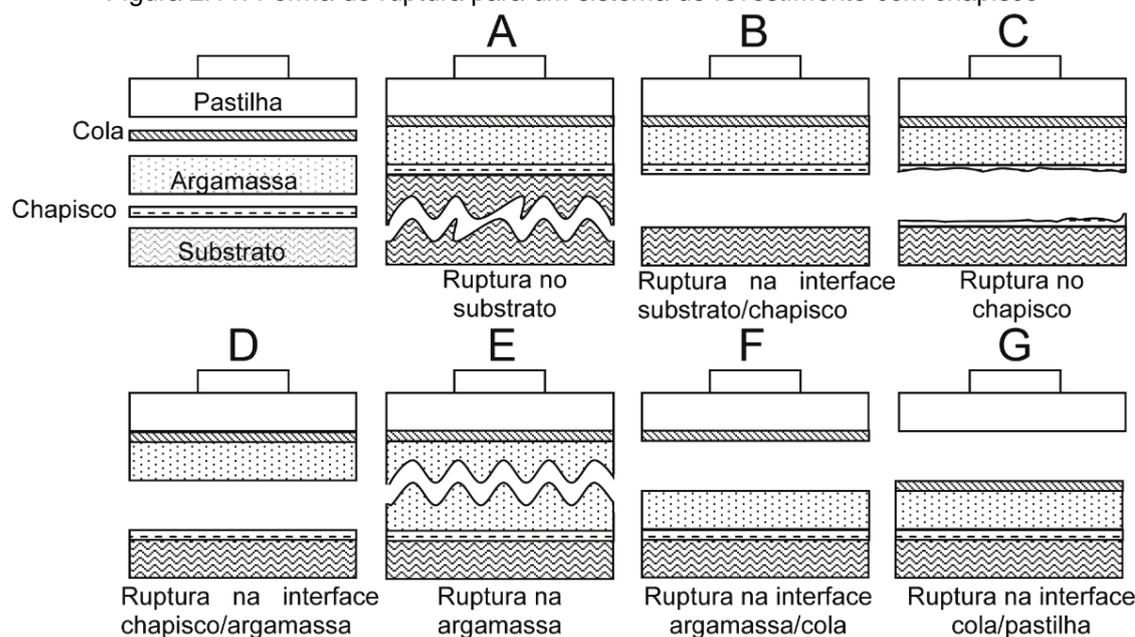
A NBR 13528 (ABNT, 2010) determina a resistência de aderência à tração das argamassas de revestimento. Essa norma determina que o ensaio deve ser composto por 12 corpos de prova de mesma característica, com  $50 \pm 1$  mm de diâmetro, espaçados entre si, no mínimo 50mm, contemplando juntas e blocos, revestimento com idade de 28 dias, no caso de argamassas mistas ou de cimento e areia; e de 56 dias para argamassas de cal e areia, contados após a aplicação da argamassa sobre o substrato ou com outras idades conforme acordo entre as partes. Determina também que devam ser assinaladas as formas de ruptura dos corpos de prova, conforme as figuras 2.10 e 2.11 e que devem ser retirados 3 testemunhos de 50 mm do substrato a ser ensaiado a fim de determinar seu teor de umidade e espessura do revestimento.

Figura 2.10 Forma de ruptura para um sistema de revestimento sem chapisco



Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010)

Figura 2:11: Forma de ruptura para um sistema de revestimento com chapisco



Fonte: NBR 13528 (ABNT, 2010)

## 2.3 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Utiliza-se o tratamento estatístico dos dados coletados para modelar e validar os resultados.

Para a modelagem dos dados, utilizou-se a análise de regressão. Para verificar se as variações propostas tiveram resultados significativos em relação aos resultados obtidos fez-se a análise de variância dos dados.

### 2.3.1 Análise de regressão

Segundo Montgomery e Runger (2003) a análise de regressão é uma técnica estatística utilizada para modelar e investigar a relação entre duas ou mais variáveis e estimar valores médios de observações futuras de respostas.

O modelo de regressão pode se apresentar na forma linear, polinomial, exponencial, logarítmica ou em outra forma de equação matemática que melhor explique essa tendência.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é a grandeza usada para julgar a adequação do modelo de regressão e verificar a variabilidade das grandezas X e Y aleatórias observadas no experimento. O coeficiente de determinação tem uma variação de 0 a 1, sendo que quanto mais se aproxima da unidade melhor explica o modelo de regressão adotado.

### 2.3.2 Análise de Variância

Método utilizado para comparar médias quando houver mais de dois níveis de um único fator (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

Para um único fator com várias observações ou replicatas (ou réplicas) pode-se descrever as observações pelo modelo linear estatístico descrito na equação 3.2 e para vários fatores na equação 3.3.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Onde:  $i = 0, 1, 2, \dots, a$     variação do cimento, da cal e da areia  
 $j = 0, 1, 2, \dots, n$     observações da variação

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ji} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Equação 3.3})$$

Onde:  $i = 0, 1, 2, \dots, a$     variação da cal  
 $j = 0, 1, 2, \dots, b$     tratamento aplicados ao experimento  
 $k = 0, 1, 2, \dots, n$     observações da variação

E para testar o fato dos efeitos dos fatores utiliza-se a equação 3.4 e observa-se o  $f_0$  calculado com o tabelado.

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + \beta_j + (T\beta)_{ji} + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Equação 3.4})$$

$H_0: T_i = 0$ ,    Não houve variação nas observações com a variação  
 $H_0: \beta_j = 0$  e    proposta (cimento, cal e areia)  
 $H_0: (T\beta)_{ji} = 0$      $f_0$  calculado é menor que  $f_0$  tabelado  
 $H_0: T_i \neq 0$ ,    Houve variação nas observações com a variação  
 $H_0: \beta_j \neq 0$  e    proposta (cimento, cal e areia)  
 $H_0: (T\beta)_{ji} \neq 0$      $f_0$  calculado é maior ou igual que  $f_0$  tabelado

### 3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Todos os procedimentos adotados nesta pesquisa visam às condições de canteiro de obras com suas dificuldades e recursos disponíveis como a utilização da água para limpeza e molhagem do substrato e cura das argamassas.

A seguir, a caracterização dos materiais utilizados na pesquisa.

#### 3.1 BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO

Neste estudo, pesquisou-se a caracterização dos blocos de concreto celular autoclavado C25 e C45 por serem os encontrados no comércio local. Para determinação dos ensaios a serem realizados, fez-se a extração de seis corpos de prova, conforme descrito em 2.1.3, para cada tipo de ensaio.

Para a determinação da resistência à compressão (NBR 13.439; ABNT, 1995b), iniciou-se o capeamento (figura 3.1) em ambas as faces de apoio aos pratos da prensa, e, após a cura do capeamento, processou-se o rompimento dos mesmos (Figura 3.2) cuja média encontra-se na tabela 3.1; os resultados individuais encontram-se tabulados no anexo A. Na figura 3.3, verifica-se o tipo de rompimento de um corpo de prova.

Figura 3.1 – Capeamento dos blocos de CCA



Fonte: o autor

Figura 3.2 – Rompimento dos blocos de CCA



Fonte: o autor

Figura 3.3 – Bloco de CCA rompido



Fonte: o autor

Para verificação da densidade de massa aparente seca foram seguidas as recomendações da NBR 13440 (ABNT, 1995c). Após as extrações dos corpos de prova, foram aferidas suas medidas e determinadas suas massas e volumes conforme descrito em 2.1.3, cujas médias encontram-se na tabela 3.1; os resultados individuais encontram-se tabulados no anexo A.

Como a permeabilidade é outro fator relacionado à aderência, e devido à falta de normalização para determinação do índice de absorção de água (total) e de absorção inicial de água, usou-se o prescrito na norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005h) para blocos cerâmicos cujas médias encontram-se na tabela 3.1; os resultados individuais encontram-se no anexo A.

Para verificação da resistência de aderência que os blocos pesquisados poderiam suportar, determinou-se o índice de resistência de aderência à tração (NBR 13528, ABNT, 2010) colando as pastilhas diretamente no bloco e, após 24 horas, procedeu-se o arrancamento. Os valores médios encontram-se na tabela 3.1 e os valores individuais encontram-se no anexo A.

Tabela 3.1 – Resultados da caracterização dos blocos de CCA

Ensaio	Norma	Resultados		Desvio padrão	
		C25	C45	C25	C45
Densidade de massa aparente seca (Kg/m <sup>3</sup> )	NBR 13.440	437	557	8,17	7,99
Resistência à compressão (Mpa)	NBR 13.439	1,78	2,36	0,32	0,25
Absorção total de água (%)	NBR 15270-3	59,95	58,5	5,88	2,43
Absorção inicial de água. (g/193,55 cm <sup>2</sup> /min)	NBR 15270-3	27,49	34,57	5,57	6,64
Resistência de aderência à tração (Mpa)	NBR 13528	0,32	0,54	0,06	0,08

O concreto celular autoclavado classe C25 pesquisado apresenta uma variação média de densidade de massa de 1,87% e uma variação média na resistência à compressão da ordem de 17,98%.

O índice de absorção de água inicial apresentou uma média de 27,49 g/193,55 cm<sup>2</sup> e um desvio padrão de 5,57 g/193,55 cm<sup>2</sup> o que representa um desvio médio de 20,26% e mostra as superfícies com diferentes absorções de água, fato que prejudica a aderência das argamassas ao substrato. Observa-se também que, em 60 segundos de absorção de água (Anexo A – Índice de absorção de água do bloco de CCA C25) em uma face do corpo de prova, (563,3g) é praticamente igual à quantidade de água retida no corpo de prova (570,6g) antes da secagem ao forno.

Observou-se 59,99% de absorção total de água com 5,88% de desvio padrão, o que indica uma variação de 9,81% na absorção de água nos corpos de prova pesquisados.

Com o objetivo de comprovar a aderência que os revestimentos fixam-se ao bloco de CCA, realizou-se um estudo de aderência à tração de acordo com a norma NBR 13528 (ABNT, 2010), diretamente à superfície do bloco e observou-se que a resistência média de aderência à tração a que suporta o substrato é de 0,32 Mpa com 0,0676 Mpa de desvio padrão mostrando uma variação média de 21,23%, sendo que o maior valor de aderência à tração é o dobro do menor, e todos os rompimentos ocorreram no substrato.

O bloco C45 apresentou uma variação média de densidade de massa de 1,43% e uma variação média na resistência à compressão da ordem de 10,59%.

O índice de absorção de água inicial apresentou uma média de 34,57 g/193,55 cm<sup>2</sup> e um desvio padrão de 6,647 g/193,55 cm<sup>2</sup> o que representa um desvio médio de 19,21 %.

Observou-se 58,50 % de absorção total de água com 2,43 % de desvio padrão, o que significa uma variação de 4,15 % na absorção de água nos corpos de prova pesquisados.

Assim como o observado no bloco de concreto celular autoclavado classe C25, os de classe C45 também apresentaram uma variação elevada em sua resistência à compressão.

O mesmo teste de aderência à tração, realizado no bloco de concreto celular autoclavado C25, foi empregado no bloco classe C45 e observou-se que a resistência média de aderência à tração a que suporta o substrato é de 0,45 Mpa com 0,0874 Mpa de desvio padrão, o que representa uma variação média de 19,42%. Verificou-se também que o maior valor de aderência à tração é o dobro do menor e que todos os rompimentos ocorreram no substrato.

De acordo com a tabela 2.1, os blocos de CCA, para serem classificados como C25 e C45, devem ter simultaneamente um valor médio mínimo de resistência à compressão de 2,5 Mpa e 4,5 Mpa e uma média de densidade aparente seca menor ou igual a 550 Kg/m<sup>3</sup> e 650 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Apesar de o bloco comercialmente vendido como C25 apresentar densidade de massa aparente seca enquadrado em todas as classes, o valor médio de resistência à compressão de 1,78 Mpa o enquadra na categoria C15 (resistência à compressão superior a 1,5 Mpa e inferior a 2,5 Mpa).

Como o valor averiguado da densidade de massa aparente seca do bloco comercialmente vendido como C45 foi de 557 Kg/m<sup>3</sup>, seu enquadramento deveria ocorrer na classe C25, mas sua resistência à compressão somente alcançou o valor de 2,36 Mpa, levando sua classificação à classe C15.

Nesta pesquisa, optou-se pelo uso da classificação comercial.

### 3.2 CIMENTO PORTLAND

Nesta pesquisa, utilizou-se o cimento Portland CP III 40 RS produzido em uma indústria localizada no sul do estado do Espírito Santo e comercializado na cidade de Vitória cujas características físicas e químicas fornecidas pelo fabricante encontram-se expostas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Análise química e física do cimento Portland CP III 40 RS

Análise Física	
Área específica (m <sup>2</sup> /kg)	389
Finura (# 325)	2,4
Início de Pega (min)	240
Fim de Pega (min)	290
Água de Consistência Normal (%)	30,8
Análise Química	
PF (%)	2,45
SiO <sub>2</sub> (%)	28,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	8,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1,78
CaO (%)	50,01
MgO (%)	6,05
SO <sub>3</sub> (%)	1,77
Na <sub>2</sub> O (%)	0,26
K <sub>2</sub> O (%)	0,4
RI (%)	0,49

Fonte: Cimento Nassau

No Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção Civil do Centro Tecnológico da UFES (LEMAC), determinou-se a massa unitária no estado solto de acordo com a norma NBR 3468 (ABNT, 1991<sup>a</sup>) e a massa específica de acordo com a norma NBR NM 23 (ABNT, 2000) do cimento CP III 40 RS em estudo cujos resultados encontram-se na tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Massa unitária e específica do cimento CP III 40 RS.

Ensaio	Norma	Resultados
Massa unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	MB 3468	0,840
Massa específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	NBR NM 23	2,993

### 3.3 CAL HIDRATADA

Foi utilizada cal CH I encontrada no comércio local e suas características físicas e químicas foram fornecidas pelo fabricante (tabela 3.4).

Tabela 3.4 – Análise química e física da cal hidratada CH I

Aspecto	pó seco branco
Óxidos não hidratados	O
Poder de incorporação de areia	> 4,0
nº Blaine	7200 cm <sup>2</sup> /g
Retenção de água	> 80%
Plasticidade	> 120%
Retido na peneira 30 (%)	< 0,5
Retido na peneira 200 (%)	< 7,0

Fonte: Ical Ind. E Calcinação Ltda

A cal é incluída no traço das argamassas com função plastificante e por esse motivo nesta pesquisa foi adotada a referida característica.

No LEMAC, determinou-se a massa unitária no estado solto de acordo com a norma NBR 3468 (ABNT, 1991<sup>a</sup>) e a massa específica de acordo com a norma NBR NM 23 (ABNT, 2000) da cal CH I em estudo cujos resultados encontram-se na tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Massa unitária e específica da cal hidratada CH I

Ensaio	Norma	Resultados
Massa unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	MB 3468	0,416
Massa específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	NBR NM 23	2,308

### 3.4 AGREGADO MIÚDO

Nesta pesquisa utilizou-se areia extraída do rio Doce localizado na região central do estado do Espírito Santo e comercializada em Vitória. No LEMAC determinou-se as características físicas da areia verificando a massa unitária seca e úmida (tabela 3.6) de acordo com a norma NBR NM 45 (ABNT, 2006).

Tabela 3.6 – Massa unitária da areia

Determinações	Seca (Kg/dm <sup>3</sup> )	Úmida (Kg/dm <sup>3</sup> )
1 <sup>a</sup>	1,397	1,197
2 <sup>a</sup>	1,383	1,183
3 <sup>a</sup>	1,380	1,190
Massa unitária média	1,387	1,190

Determinou-se, de acordo com a norma NBR NM 52 (ABNT, 2009b), as massas específicas e a média adotadas nesta pesquisa (tabela 3.7).

Tabela 3.7 – Massa específica da areia

Amostra	Massa específica (kg/dm <sup>3</sup> )
1	2,632
2	2,618
Média	2,625

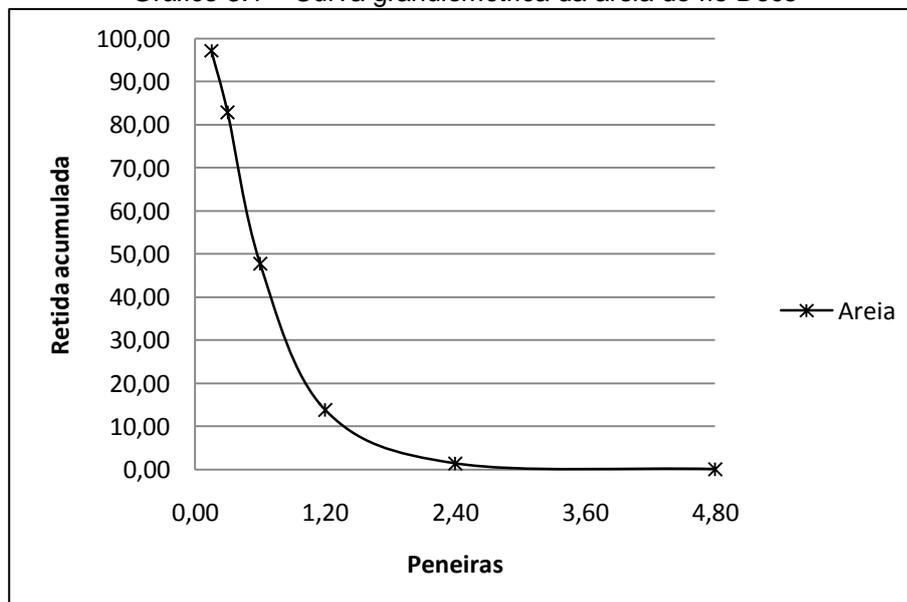
A composição granulométrica, dimensão máxima, módulo de finura (tabela 3.8) e a curva granulométrica (gráfico 3.1) foram analisadas de acordo com a norma NBR NM 248 (ABNT, 2003b).

Tabela 3.8 – Granulometria da areia

Peneira	Retida					
	Amostra 1		Amostra 2		%	
	massa	%	massa	%	Média	acumulada
4,80	0,25	0,08	0,00	0,00	0,04	0
2,40	4,34	1,42	3,85	1,23	1,32	1
1,20	37,71	12,35	39,19	12,49	12,42	14
0,60	103,10	33,77	107,07	34,11	33,94	48
0,30	107,75	35,29	109,80	34,98	35,14	83
0,15	43,65	14,30	44,85	14,29	14,29	97
Fundo	8,54	2,80	9,12	2,91	2,85	100

MF = 2,43  
DMC = 2,400

Gráfico 3.1 – Curva granulométrica da areia do rio Doce



Foi determinado o teor de umidade da areia (tabela 3.9) e seu coeficiente de inchamento (equação 3.1) de acordo com a norma NBR 6467 (ABNT, 2009<sup>a</sup>).

Tabela 3.9 – Teor de umidade da areia

Amostra	Massa (g)			Unidade %
	Úmida	Seca	Tara	
1	145,00	140,79	21,14	3,51
2	155,25	150,37	20,08	3,75
3	134,60	130,94	21,05	3,88
				3,71

$$CI = \frac{V_h}{V_o} = \frac{m_{úmida}}{m_{seca}} \times (1 + h) \quad (\text{Equação 3.1})$$

Onde:

CI – Coeficiente de inchamento

V<sub>h</sub> – Volume úmido (cm<sup>3</sup>)

V<sub>o</sub> – Volume seco (cm<sup>3</sup>)

m<sub>úmida</sub> – massa unitária úmida (g/cm<sup>3</sup>)

m<sub>seca</sub> – massa unitária seca (g/cm<sup>3</sup>)

h – teor de umidade (%)

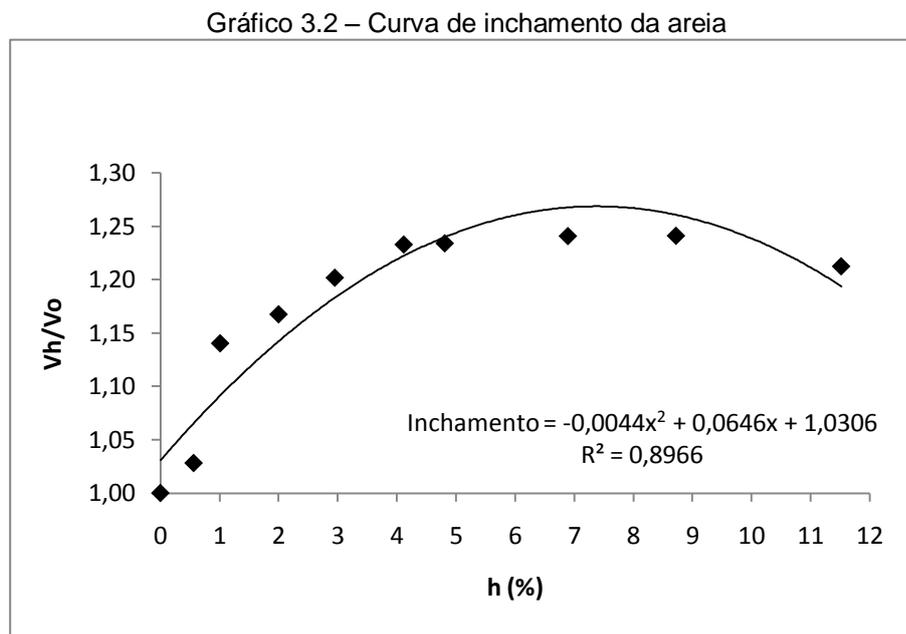
A partir da equação 3.1, obteve-se um coeficiente de inchamento de 1,21.

Para a determinação da curva de inchamento da areia, foram utilizados 50 Kg de areia in natura e um recipiente cilíndrico de 15 litros e de acordo com a norma NBR 6467 (ABNT, 2009<sup>a</sup>), verificou-se o percentual de umidade (tabela 3.10).

Tabela 3.10 – Curva de inchamento da areia

Umidade adotada (%)	Volume de água (ml)	Tara da cápsula (g)	Areia + cápsula (g)		Teor de umidade h (%)	Massa (Kg)		γ <sub>s</sub> /γ <sub>h</sub>	V <sub>h</sub> /V <sub>o</sub> (dm <sup>3</sup> )
			Úmida	seca		Amostra	Unitária		
0		21,10	165,30	165,30	0,00	20,60	1,37	1,00	1,00
0,5	250	21,03	167,63	166,81	0,56	20,15	1,34	1,02	1,03
1	500	20,30	145,07	143,82	1,01	18,25	1,22	1,13	1,14
2	1.000	21,68	136,38	134,13	2,00	18,00	1,20	1,14	1,17
3	1.500	20,68	135,77	132,47	2,95	17,65	1,18	1,17	1,20
4	2.000	20,22	130,21	125,86	4,12	17,40	1,16	1,18	1,23
5	2.500	20,53	140,33	134,83	4,81	17,50	1,17	1,18	1,23
7	3.500	21,07	128,20	121,29	6,89	17,75	1,18	1,16	1,24
9	4.500	20,47	120,54	112,51	8,72	18,05	1,20	1,14	1,24
12	6.000	20,20	134,54	122,73	11,52	18,95	1,26	1,09	1,21

No gráfico 3.2, é mostrada a curva de inchamento da areia.



Na tabela 3.11, encontra-se o resumo da caracterização física da areia utilizada nesta pesquisa.

Tabela 3.11 – Resumo da caracterização física da areia

Ensaio	Norma	Resultados
Massa unitária (Kg/dm <sup>3</sup> )	NBR NM 45	1,387
Massa específica (Kg/dm <sup>3</sup> )	NBR NM 52	2,625
Dimensão máxima característica (mm)	NBR NM 248	2,400
Módulo de finura	NBR NM 248	2,430
Coefficiente de inchamento	NBR 6467	1,210
Teor de umidade da areia (%)	NBR 6467	3,710

### 3.5 ARGAMASSA

Com o objetivo de pesquisar o comportamento das argamassas produzidas no laboratório, tanto para uso interno como externo, optou-se pelo traço em volume 1:1:4,5 (cimento;cal;areia úmida) cujo traço será identificado nesta pesquisa como Car (2:2:9).

Com a variação do cimento (Ci) em meia unidade, em volume para cima e para baixo e com a fixação dos volumes iniciais da cal (Ca) em dois e da areia úmida (Ar)

em nove, obteve-se as argamassas identificadas em volumes iniciais como Ci1 (1:2:9), Ci1,5 (1,5:2:9), Ci2,5 (2,5:2:9) e Ci3 (3:2:9).

O mesmo procedimento foi adotado para a cal com a fixação dos volumes iniciais do cimento (Ci) em dois e da areia úmida (Ar) em nove, resultando nas argamassas (volumes iniciais) Ca1 (2:1:9), Ca1,5 (2:1,5:9), Ca2,5 (2:2,5:9) e Ca3 (2:3:9).

Para a areia, a variação do volume ocorreu em uma unidade e meia de volume úmido, com a fixação do cimento (Ci) e da cal (Ca) em duas unidades cada, resultando nas argamassas (volume iniciais) Ar6 (2:2:6), Ar7,5 (2:2:7,5), Ar10,5 (2:2:10,5) e Ar12 (2:2:12).

Após a confecção de alguns traços-piloto para determinação da quantidade de água, verificou-se que para uma mesma quantidade de areia e com uma quantidade fixa de água, a consistência variou entre 255 mm e 280 mm. Optou-se pela fixação da quantidade de água para uma mesma quantidade de areia.

Na tabela 3.12, são mostradas as argamassas pesquisadas com as variações do cimento, da cal e da areia e suas identificações, os traços em volume com as variações iniciais dos elementos que doravante identificarão e serão usados nos gráficos e tabelas, o traço em volume úmido para uma unidade de cimento e a relação água/cimento utilizada nesta pesquisa.

Tabela 3.12 – Argamassas pesquisadas

Variações	Identificação da argamassa	Traços (volume)		Relação água/cimento
		Inicial	Úmido	
Cimento	Ci1	1:2:9	1:2:9	1,74
	Ci1,5	1,5:2:9	1:1,33:6	1,16
	Car	2:2:9	1:1:4,5	0,87
	Ci2,5	2,5:2:9	1:0,8:3,6	0,70
	Ci3	3:2:9	1:0,66:3	0,58
Cal	Ca1	2:1:9	1:0,5:4,5	0,87
	Ca1,5	2:1,5:9	1:0,75:4,5	0,87
	Car	2:2:9	1:1:4,5	0,87
	Ca2,5	2:2,5:9	1:1,25:4,5	0,87
	Ca3	2:3:9	1:1,5:4,5	0,87
Areia	Ar6	2:2:6	1:1:3	0,58
	Ar7,5	2:2:7,5	1:1:3,75	0,72
	Car	2:2:9	1:1:4,5	0,87
	Ar10,5	2:2:10,5	1:1:5,25	1,01
	Ar12	2:2:12	1:1:6	1,16

Para determinação das caracterizações das argamassas, no estado endurecido, foram moldados corpos de prova prismáticos com 4 cm x 4 cm x 16 cm de acordo com a norma NBR 13279 (ABNT, 2005c).

Após a desforma, os corpos de prova foram armazenados em prateleira, na sala de cura (figura 3.4), por 28 dias, para que se pudesse prosseguir na análise.

Figura 3.4 – Sala de cura



Fonte: o autor

Na figura 3.5, observa-se o posicionamento dos corpos de prova em repouso, na lâmina de  $\pm 5$  mm de água, para averiguação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade.

Figura 3.5 – Absorção de água



Fonte: o autor

Todas as argamassas foram aplicadas em bloco de concreto celular autoclavado C25 por ser o mais comercializado.

Como método de tratamento usou-se somente água. Para a retirada do pó solto, na superfície dos substratos, eles foram lavados (L) com água corrente, 24 horas antes da aplicação das argamassas.

Outro tratamento empregado foi a molhagem (M) dos revestimentos às 9:00 horas e às 17:00 horas, nos primeiros dois dias seguintes à aplicação da argamassa, para melhora da hidratação do cimento.

A molhagem do substrato (Sm) foi outro tratamento pesquisado. Para padronizar esse procedimento, optou-se pela imersão da face do substrato a ser revestida, pelo período de 30 segundos, sendo a retirada do excesso de água feita com um pano úmido (figura 3.6) antes da aplicação da argamassa.

Figura 3.6 – Molhagem do bloco de CCA



Fonte: o autor

Utilizou-se as argamassas Ca1, Car e Ca3 para comparação dos tratamentos propostos as quais estão dispostas em ordem crescente de consumo de areia. Na tabela 3.13, é mostrada a identificação e os traços das argamassas e os tratamentos propostos, sendo as argamassas assentadas sem (S) nenhum tratamento, e com os tratamentos de molhagem dos revestimentos (M), lavagem do substrato (L), lavagem do substrato com molhagem do revestimento (LM) e molhagem do substrato (Sm).

Tabela 3.13 – Tratamentos pesquisados

Identificação da argamassa	Traço Úmido	Tratamento				
		Sem S	Com			
			M	L	LM	Sm
Ci3	1:0,66:3	*				
Ar6	1:1:3	*				
Ci2,5	1:0,8:3,6	*				
Ar7,5	1:1:3,75	*				
Ca1	1:0,5:4,5	*	*	*	*	*
Ca1,5	1:0,75:4,5	*				
Car	1:1:4,5	*	*	*	*	*
Ca2,5	1:1,25:4,5	*				
Ca3	1:1,5:4,5	*	*	*	*	*
Ar10,5	1:1:5,25	*				
Ar12	1:1:6	*				
Ci1,5	1:1,33:6	*				
Ci1	1:2:9	*				
Total		13	3	3	3	3

A tabela 3.14 mostra as argamassas de revestimento com o traço em volume úmido e o tipo de tratamento proposto para ser empregado. Doravante esse conjunto será chamado de parede.

Tabela 3.14 – Identificação da parede revestida com argamassa

Parede	Traço	Descrição da argamassa e tratamento proposto
Ci3S	1:0,66:3	Ci3 sem tratamento
Ar6S	1:1:3	Ar1 sem tratamento
Ci2,5S	1:0,8:3,6	Ci2,5 sem tratamento
Ar7,5S	1:1:3,75	Ar7,5S sem tratamento
Ca1S	1:0,5:4,5	Ca1 sem tratamento
Ca1M	1:0,5:4,5	Ca1 com revestimento molhado
Ca1L	1:0,5:4,5	Ca1 com substrato lavado
Ca1ML	1:0,5:4,5	Ca1 com substrato lavado e revestimento molhado
Ca1Sm	1:0,5:4,5	Ca1 com substrato molhado
CarS	1:1:4,5	Car sem tratamento
CarM	1:1:4,5	Car com revestimento molhado
CarL	1:1:4,5	Car com substrato lavado
CarLM	1:1:4,5	Car com substrato lavado e revestimento molhado
CarsM	1:1:4,5	Car com substrato molhado
Ca3S	1:1,5:4,5	Ca3 sem tratamento
Ca3M	1:1,5:4,5	Ca3 com revestimento molhado
Ca3L	1:1,5:4,5	Ca3 com substrato lavado
Ca3LM	1:1,5:4,5	Ca3 com substrato lavado e revestimento molhado
Ca3Sm	1:1,5:4,5	Ca3 com substrato molhado
Ar10,5S	1:1:5,25	Ar10,5S sem tratamento
Ar12S	1:1:6	Ar12 sem tratamento
Ci1,5	1:1,33:6	Ci1,5S sem tratamento
Ci1S	1:2:9	Ci1 sem tratamento

Com o objetivo de reduzir tempo na pesquisa e conforme mostrado por Mota et al., (2009), os valores obtidos nos testes de resistência de aderência à tração nas juntas

dos substratos são mais elevados que no próprio substrato. Por serem os blocos de concreto celular autoclavado comercializados nas dimensões de 30 x 60 cm, usou-se um bloco para cada traço e tratamento pesquisados.

Como proposto por Carasek (1996) e utilizado por Calhau (2000) e com o intuito de agilizar o preparo dos revestimentos de argamassa nas paredes, utilizou-se o equipamento idealizado para lançar a argamassa sobre os blocos. Esse equipamento é provido de uma bandeja que permite lançar a argamassa sobre o bloco a uma altura de 40 cm, com o objetivo de simular a energia empregada no lançamento da argamassa por um profissional. Um gabarito de 2 cm foi colocado sobre o bloco para conter e determinar a mesma espessura para todos os painéis pesquisados.

Após 27 dias de cura da argamassa de revestimento assentada no bloco de CCA, iniciou-se a furação dos corpos de prova (figura 3.7) em uma furadeira de bancada com uma serra copo de 50 mm (diâmetro interno), a uma profundidade de 5 mm, após transpassar a argamassa de revestimento.

Figura 3.7 – Furação dos corpos de prova



Fonte: o autor

Após a furação dos corpos de prova, os mesmos foram espanados para retirada do excesso de pó e iniciou-se, em seguida, a colação das pastilhas (Figura 3.8). Após 24 horas de secagem da cola, foi iniciado o processo de arrancamento das pastilhas para determinação da resistência de aderência à tração de acordo com a norma NBR 13528 (ABNT, 2010).

Figura 3.8 – Colaço das pastilhas



Fonte: o autor

Logo após o arrancamento das pastilhas, deu-se início à verificação da permeabilidade do revestimento assentado, utilizando-se o método do cachimbo. O cachimbo foi fixado à argamassa com massa de calafetagem (Figura 3.9) e tomou-se o cuidado para que a massa de calafetagem não fosse colocada no interior do anel oringe, o qual limita a área de contato da água com o substrato. Após a leitura de 3 séries, verificou-se que uma das séries divergia muito das outras duas. Por isso a série divergente foi eliminada para que o cálculo do coeficiente angular que determina o índice de absorção de água do substrato fosse considerado.

Figura 3.9 – Absorção de água pelo método do cachimbo



Fonte: o autor

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados da caracterização das argamassas no estado fresco, endurecido e assentado e as observações verificadas.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Na tabela 4.1, são mostrados os resultados médios dos ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco; e, no anexo B, encontram-se tabulados os resultados individuais.

Tabela 4.1 – Resultado da caracterização das argamassas no estado fresco

Identificação da argamassa	Consistência (mm)	Retenção de água (%)	Exsudação (%)	Densidade de massa (Kg/m <sup>3</sup> )	Teor de ar incorporado (%)
Ci1	255	89,79	3,15	1.882	11,06
Ci1,5	266	91,28	3,38	1.959	8,20
Car	270	90,79	3,18	1.971	8,41
Ci2,5	261	94,69	1,70	1.993	8,07
Ci3	246	95,86	1,93	2.030	8,76
Ca1	283	95,81	6,45	1.958	8,82
Ca1,5	283	91,10	3,67	1.967	8,55
Car	270	90,79	3,18	1.971	8,41
Ca2,5	260	93,55	1,26	1.979	8,13
Ca3	230	95,80	1,29	1.992	7,61
Ar6	223	95,36	1,04	2.039	6,78
Ar7,5	265	93,57	2,01	1.990	8,15
Car	270	90,79	3,18	1.971	8,41
Ar10,5	278	89,75	5,48	1.946	9,07
Ar12	265	86,92	8,53	1.926	9,65

Na tabela 4.1, são mostradas as identificações das argamassas e os resultados das consistências, retenções de água, exsudações, densidades de massa e teores de ar incorporados, os quais resultaram das caracterizações das argamassas no estado fresco.

Nos itens, a seguir, serão analisados os resultados das propriedades das argamassas de revestimento utilizados nesta pesquisa, e as equações polinomiais e os coeficientes de determinação que resultaram das regressões dos valores obtidos das argamassas de revestimentos no estado fresco, pesquisadas em função das

variações dos traços em volumes iniciais do cimento, da cal e da areia. As equações  $X_{\text{cim}}$ ,  $X_{\text{cal}}$  e  $X_{\text{areia}}$  correspondem respectivamente às variações do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia.

#### 4.1.1 Consistência

Na figura 4.1, verifica-se a medição do espalhamento da argamassa de revestimento na mesa, para índice de consistência de acordo com a NBR 13276 (ABNT, 2002).

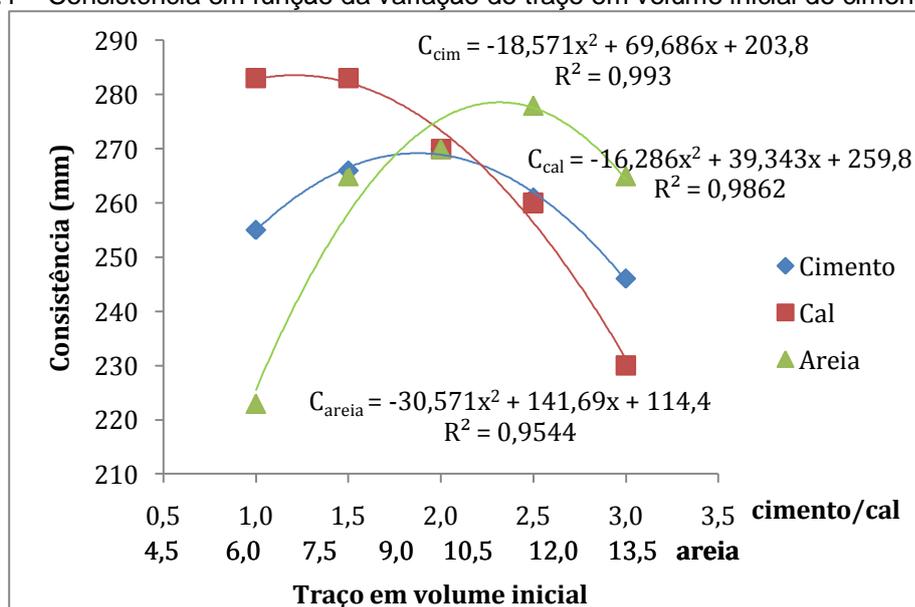
Figura 4.1 – Espalhamento da argamassa na mesa de consistência



Fonte: o autor

No gráfico 4.1, observa-se o comportamento da consistência em função da variação do traço em volume inicial (tabela 3.12) do cimento, da cal e da areia.

Gráfico 4.1 – Consistência em função da variação do traço em volume inicial do cimento/cal/areia



No gráfico acima, os coeficientes de determinação das respostas, obtidos pela equação de regressão, indicam 99,3% de confiança para o cimento ( $C_{\text{cim}}$ ); 98,62% para a cal ( $C_{\text{cal}}$ ); e 95,44% para a areia ( $C_{\text{areia}}$ ), percentuais que indicam que as equações são bem representativas.

Apesar da redução da proporção água/cimento, quando do incremento do cimento, observa-se que as argamassas tornam-se mais plásticas até a variação 2 (argamassa Car) seguida de uma redução.

Com o incremento da cal e a manutenção da proporção água/cimento, observou-se uma redução da consistência fato que mostra que as argamassas tornaram-se menos plásticas devido ao consumo da água pela cal.

Como a água está ligada diretamente à quantidade de areia empregada nas argamassas, e com a fixação das quantidades de cimento e cal na variação da areia nas argamassas, observou-se uma elevação da plasticidade das argamassas e, conseqüentemente, um aumento na consistência.

Observou-se que a quantidade de água modifica a consistência das argamassas de revestimento.

#### 4.1.2 Retenção de água

Na figura 4.2, é mostrada a retirada da água através do funil de Buchner modificado.

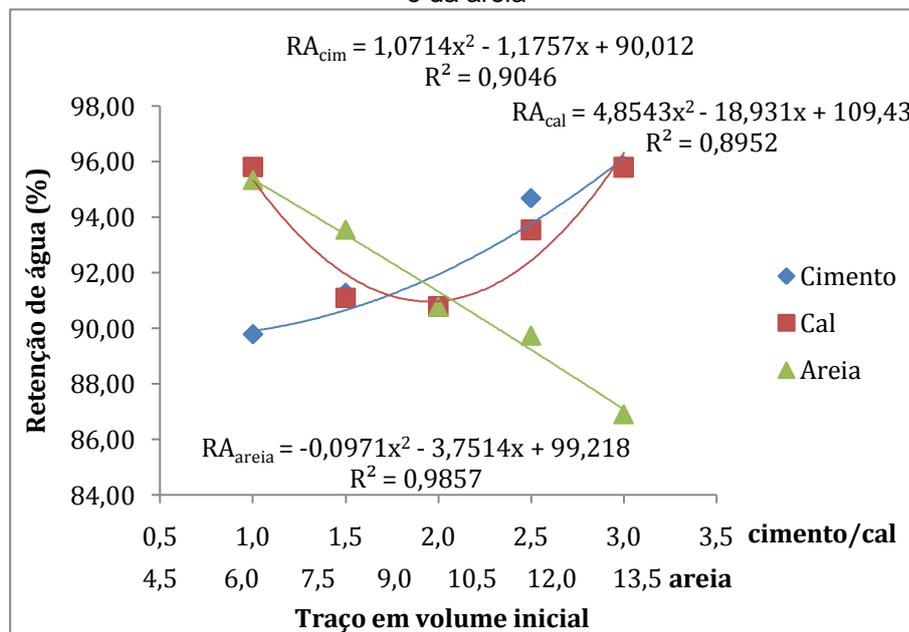
Figura 4.2 – Retenção de água



Fonte: o autor

O gráfico 4.2 mostra a variação da retenção de água em função da variação do traço em volume inicial (tabela 3.11) do cimento, da cal e da areia.

Gráfico 4.2 – Retenção de água em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



Os coeficientes de determinação das respostas, obtidos pela equação de regressão da retenção de água (RA), em função do traço em volume inicial, indicam 90,46% de confiança para o cimento ( $RA_{cim}$ ); 89,52% para a cal ( $RA_{cal}$ ) e 98,57% para a areia ( $RA_{areia}$ ), índices que mostram que as equações são representativas.

Com o incremento do cimento e a consequente diminuição da proporção água/cimento, observou-se um aumento da retenção de água ocasionada pela absorção da água pelo cimento.

Com o incremento da cal verificou-se uma redução da retenção de água até a variação 2 (argamassa Car) com uma posterior elevação.

Como a quantidade de água está ligada à quantidade de areia, observou-se uma redução da retenção de água com o incremento da areia devido à sobra de água e a um menor teor de finos (cimento e cal) nas argamassas.

### 4.1.3 Exsudação

Por não existir uma norma para determinar a exsudação das argamassas, foi feita uma adaptação da norma NBR 15558 (ABNT, 2008) para que se pudesse proceder à exsudação do concreto, substituindo-se o recipiente de 15 litros por um Becker de 1000 ml (figura 4.3). Realizado o procedimento, verificou-se que com 800 ml de argamassa obtém-se a mesma proporção no diâmetro e na altura do recipiente de 15 litros. A haste de adensamento foi substituída por uma espátula com dois centímetros de largura. O Becker foi preenchido com três camadas de argamassa que foi adensada com a espátula com 25 golpes por camada.

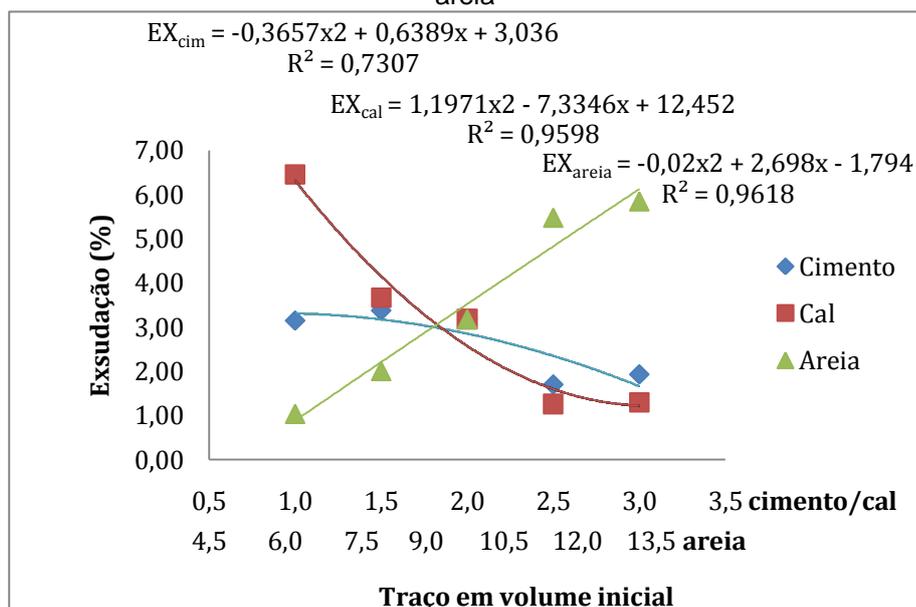
Figura 4.3 – Becker usado para determinação da exsudação



Fonte: o autor

No gráfico 4.3, observa-se o comportamento da exsudação em função da variação do traço em volume inicial (tabela 3.11) do cimento, da cal e da areia.

Gráfico 4.3 – Exsudação em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



Os coeficientes de determinação das respostas, obtidos pela equação de regressão da exsudação (EX), em função do traço em volume inicial indicam 73,07% de confiança para o cimento ( $EX_{cim}$ ); 95,98% para a cal ( $EX_{cal}$ ) e 96,18% para a areia ( $EX_{areia}$ ). Esses índices mostram a equação que representa os resultados obtidos da exsudação das argamassas de revestimento pesquisada em função do traço em volume inicial. A conclusão é de que as equações que representam as variações da cal e da areia são bem significativas, porém a do cimento não é muito representativa.

Com o incremento do cimento, observa-se uma discreta redução da exsudação ocasionada pelo aumento de finos (cimento) que são hidratados com água no interior da estrutura das argamassas.

Com o incremento da cal, observa-se uma acentuada redução da exsudação ocasionada também pelo aumento de finos (cal) no interior da estrutura das argamassas.

Como a quantidade de água está relacionada à quantidade de areia, com o seu incremento, observa-se uma elevação da exsudação devido aos espaços deixados no interior das argamassas os quais são ocupados pela água.

Conforme observado no Gráfico 4.1, a quantidade de água afeta o percentual de exsudação das argamassas, isto é, quanto maior a relação água/cimento maior a exsudação.

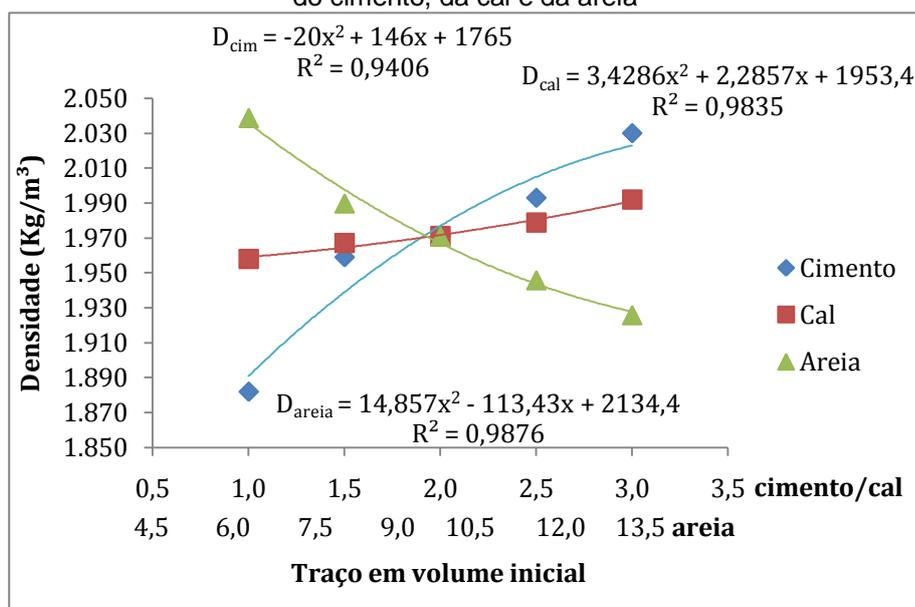
#### 4.1.4 Densidade de massa no estado fresco

No gráfico 4.4, observou-se variação da densidade de massa no estado fresco em função da variação do cimento, da cal e da areia.

Os coeficientes de determinação das respostas, obtidos pela equação de regressão da densidade de massa no estado fresco ( $D$ ), em função do traço em volume inicial, indicam 94,06% de confiança para o cimento ( $D_{cim}$ ); 98,35% para a cal ( $D_{cal}$ ) e 98,76% para a areia ( $D_{areia}$ ); percentuais que mostram que as equações são representativas.

Com o incremento do cimento, observou-se uma elevação da densidade de massa no estado fresco das argamassas, devido à ocupação dos grãos de cimento no interior das mesmas o que as torna mais densas.

Gráfico 4.4 – Densidade de massa no estado fresco em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



Com o incremento da cal, observou-se uma discreta elevação da densidade de massa, no estado fresco, ocasionada pela ocupação da cal e uma diminuição dos vazios no interior das argamassas.

Com o incremento da areia e um aumento da quantidade de água, a densidade de massa no estado fresco tende a diminuir devido a um aumento de vazios no interior das argamassas.

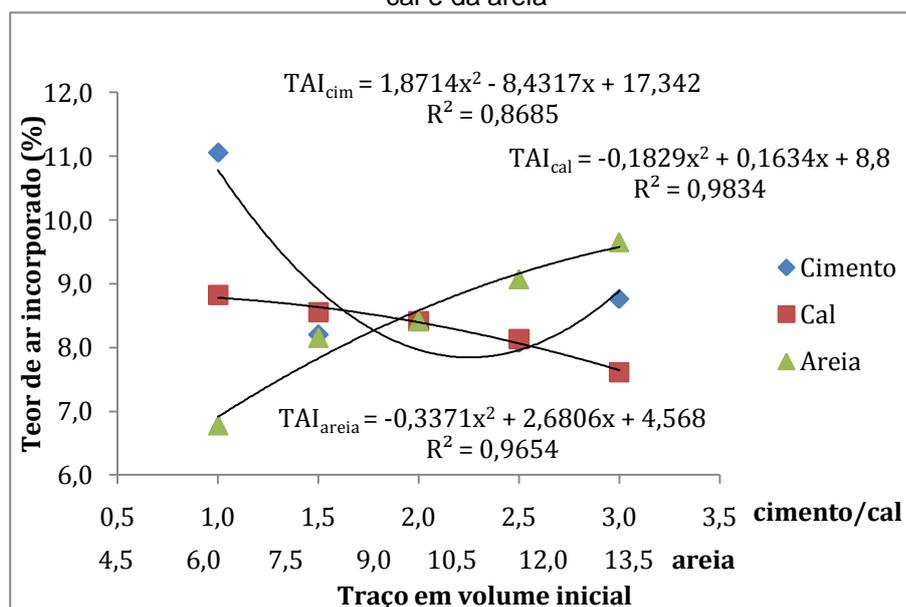
#### 4.1.5 Teor de ar incorporado

No gráfico 4.5, observa-se a variação do teor de ar incorporado à argamassa em função do incremento do cimento, da cal e da areia.

Os coeficientes de determinação das respostas, obtidos pela equação de regressão do teor de ar incorporado (TAI), em função do traço em volume inicial indicam 96,85% de confiança para o cimento ( $TAI_{cim}$ ); 98,34% para a cal ( $TAI_{cal}$ ) e 96,54% para a areia ( $TAI_{areia}$ ) o que mostra que as equações são representativas.

Com o incremento do cimento, observou-se uma redução do teor de ar incorporado nas argamassas até a variação 2 do traço inicial do cimento seguida de uma pequena elevação.

Gráfico 4.5– Teor de ar incorporado em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



Com o incremento da cal, observou-se uma ligeira diminuição do teor de ar incorporado no interior das argamassas.

Com o incremento da areia, observou-se uma elevação do teor de ar incorporado às argamassas.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

Na tabela 4.2, são mostrados os ensaios de caracterização das argamassas, no estado endurecido, e, no anexo C, os resultados individuais.

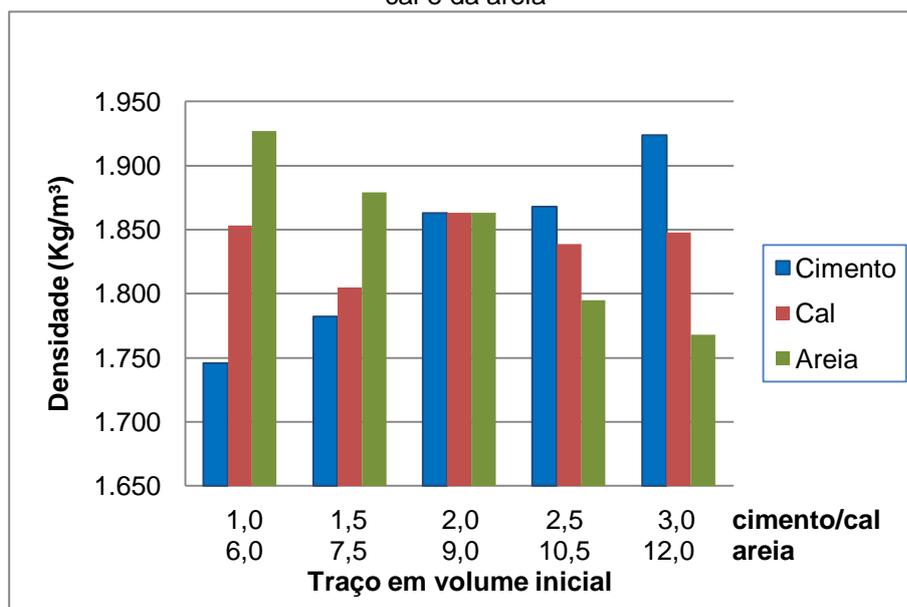
Tabela 4.2 – Resultado da caracterização das argamassas no estado endurecido

Identificação da argamassa	Densidade de massa (Kg/m <sup>3</sup> )	Resistência (MPa)		Absorção de água por capilaridade (g/cm <sup>2</sup> )		Coeficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> )
		Tração na flexão	Compressão	A <sub>10</sub>	A <sub>90</sub>	
Ci1	1.746	0,61	2,03	0,67	1,54	15,02
Ci1,5	1.782	2,34	6,79	0,42	1,09	11,31
Car	1.863	1,97	7,65	0,46	1,15	11,77
Ci2,5	1.868	5,52	11,56	0,31	0,76	13,02
Ci3	1.924	3,76	14,22	0,31	0,68	6,70
Ca1	1.853	2,34	7,57	0,36	0,95	15,50
Ca1,5	1.805	2,28	7,34	0,41	0,87	8,60
Car	1.863	1,97	7,65	0,46	1,15	11,77
Ca2,5	1.839	2,66	8,28	0,31	0,78	8,30
Ca3	1.848	2,34	8,77	0,30	0,72	7,00
Ar6	1.927	4,00	14,10	0,15	0,37	4,50
Ar7,5	1.879	3,44	11,80	0,15	0,48	6,20
Car	1.863	1,97	7,65	0,46	1,15	11,77
Ar10,5	1.795	2,23	7,04	0,29	0,76	13,30
Ar12	1.768	1,77	5,27	0,38	1,02	10,40

### 4.2.1 Densidade de massa no estado endurecido

No gráfico 4.6, observa-se a variação da densidade de massa aparente, no estado endurecido, em função do incremento do cimento, da cal e da areia.

Gráfico 4.6 – Densidade de massa em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



Com o incremento do cimento, observou-se um aumento da densidade de massa, no estado endurecido, ocasionada pela ocupação do cimento mais denso que a água no interior das argamassas.

Com o incremento da cal, a densidade de massa não teve uma variação significativa.

Como a quantidade de água varia com a quantidade de areia, observou-se a diminuição da densidade de massa com o incremento da areia, devido à ocupação da água no interior das argamassas e à mudança no teor de vazios.

#### 4.2.2 Resistência à tração na flexão e à compressão

Na figura 4.5, observa-se o rompimento do corpo de prova para determinação da resistência à tração na flexão.

Figura 4.5 – Determinação da resistência à tração na flexão



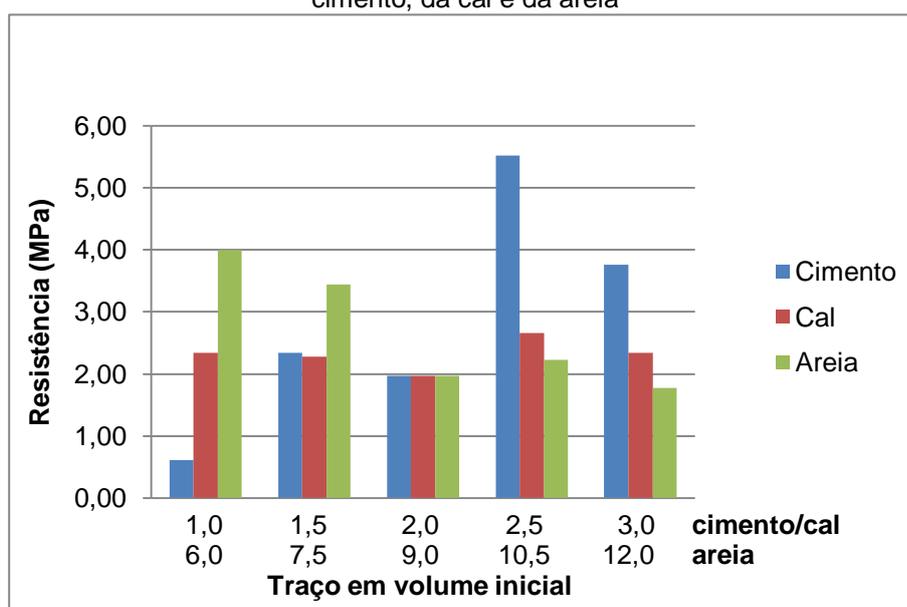
Fonte: o autor

No gráfico 4.7, observa-se a variação da resistência à tração na flexão e, no gráfico 4.8, observa-se a variação da resistência à compressão, ambos em função do incremento do cimento, da cal e da areia.

Sendo o cimento o aglomerante hidráulico das argamassas, observou-se uma elevação da resistência à tração na flexão e à compressão com o aumento do teor de cimento nas argamassas.

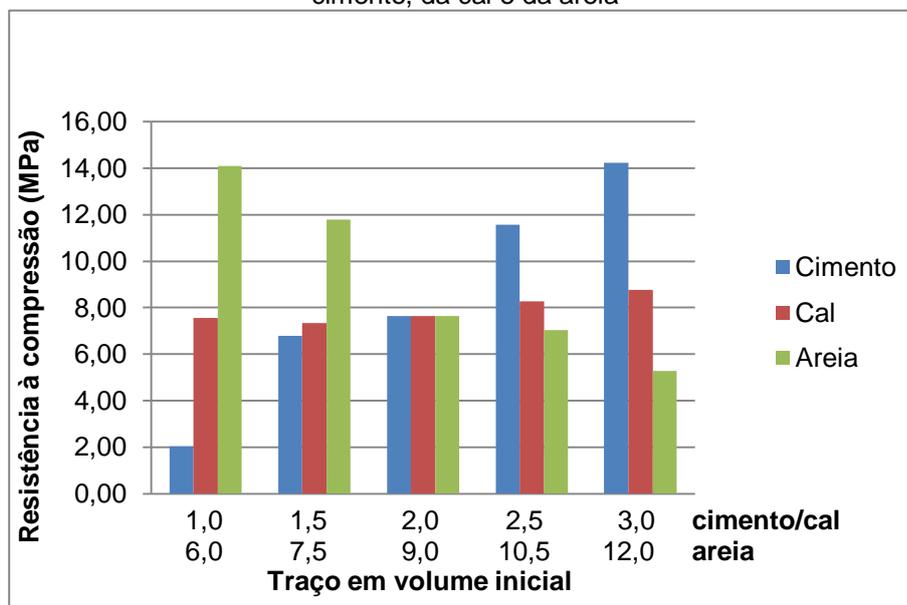
Com o incremento da cal, não se observou variação significativa na resistência à tração na flexão e à compressão.

Gráfico 4.7 – Resistência à tração na flexão em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



Com o incremento da areia e da água, observou-se uma redução da resistência à tração na flexão e à compressão devido aos espaços vazios deixados pela água no interior das argamassas.

Gráfico 4.8 – Resistência à compressão em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



Conforme esperado, observou-se o cimento atuando como aglomerante e a cal, apesar de aglomerante, com pouca influência nas resistências como descrito anteriormente.

### 4.2.3 Absorção de água por capilaridade e coeficiente de capilaridade

No gráfico 4.9, observa-se a absorção de água por capilaridade das argamassas, aos 10 minutos, com a variação do cimento, da cal e da areia.

No gráfico 4.10, observa-se a absorção de água por capilaridade das argamassas, aos 90 minutos, em função do incremento do cimento, da cal e da areia.

Gráfico 4.9 – Absorção de água por capilaridade, aos 10 minutos, em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia

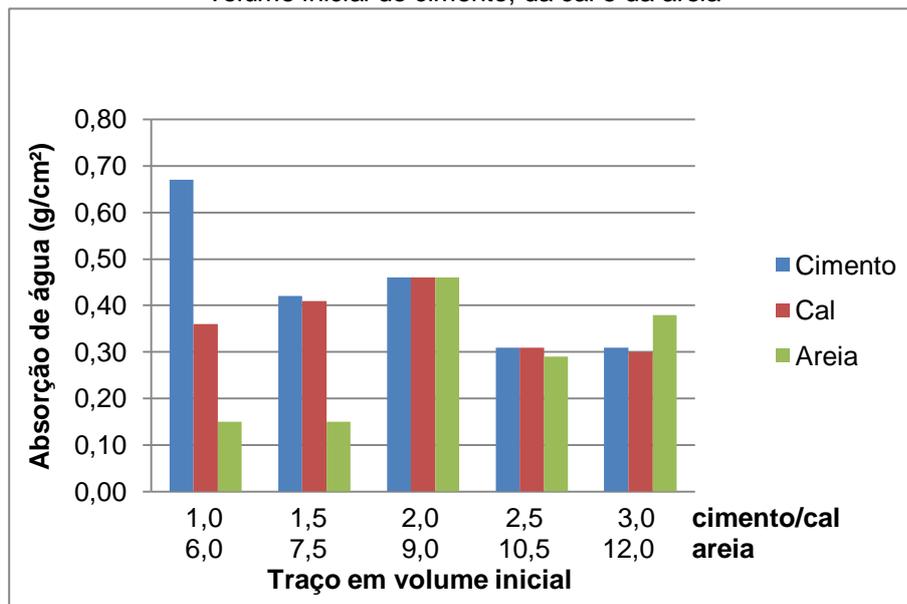
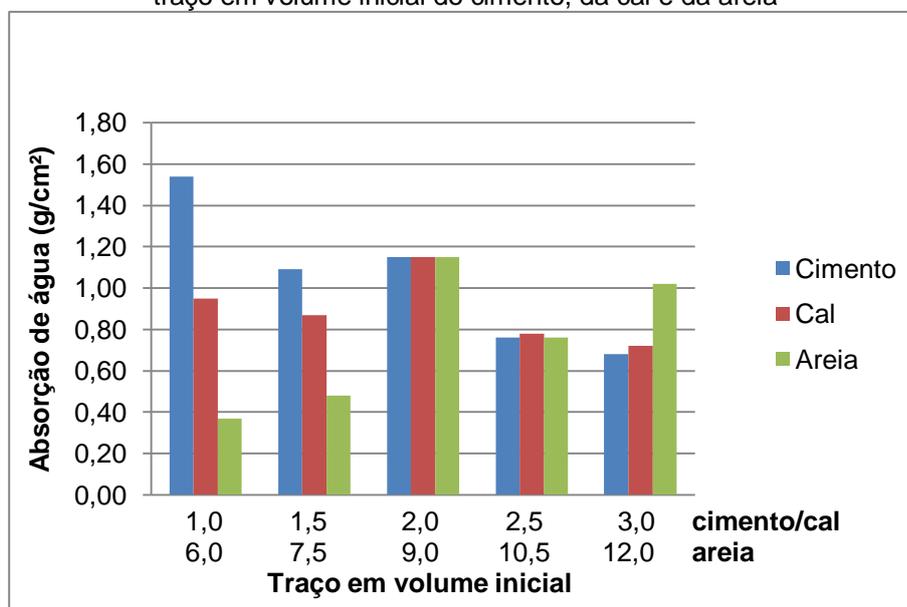
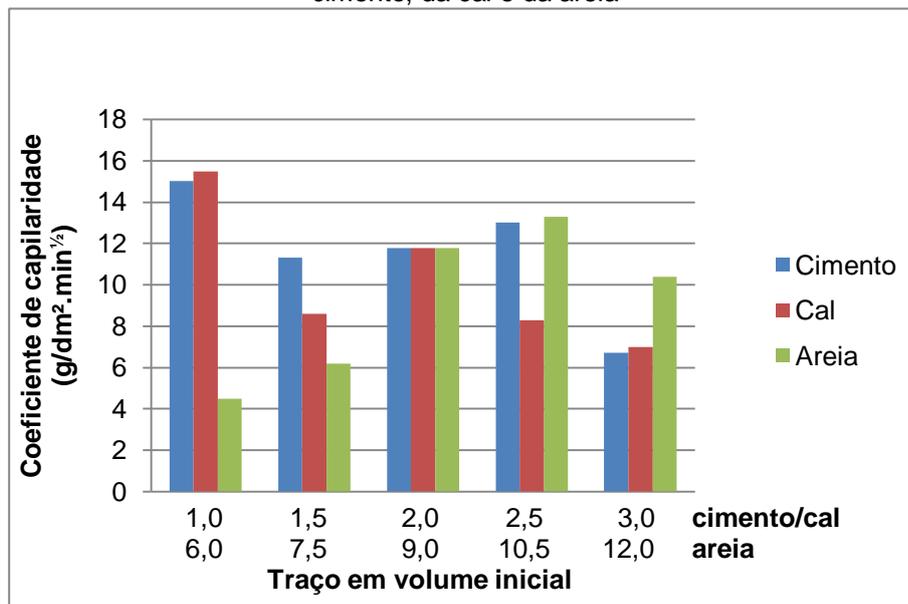


Gráfico 4.10 – Absorção de água por capilaridade, aos 90 minutos, em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



No gráfico 4.11, observa-se o coeficiente de capilaridade em função do incremento do cimento, da cal e da areia.

Gráfico 4.11 – Coeficiente de capilaridade em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



Observou-se que, com o incremento do cimento e da cal, as argamassas tornaram-se mais densas e reduziram a absorção de água por capilaridade, ocorrendo o inverso com o incremento da areia.

### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ASSENTADO EM SUBSTRATO

Os resultados médios encontram-se na tabela 4.3 e os resultados individuais encontram-se no anexo D.

Tabela 4.3 – Resultados da caracterização das argamassas no estado assentado em substrato

Ident. da argamassa	Ab. de água mét. cachimbo (cm <sup>3</sup> /min)	Aderência à tração (MPa)									
		Sem trat. (S)		Arg. Molh. (M)		Subs. Lav. (L)		Subs. (LM)		Subs. (sM)	
		Resut.	dp	Resut.	dp	Resut.	dp	Resut.	dp	Resut.	Dp
Ci1	0,178	0,160	0,042								
Ci1,5	0,210	0,120	0,068								
Car	0,184	0,150	0,035	0,110	0,013	0,180	0,034	0,190	0,059	0,280	0,088
Ci2,5	0,120	0,160	0,038								
Ci3	0,151	NC	NC								
Ca1	0,111	0,190	0,054	0,210	0,052	0,330	0,112	0,250	0,055	0,270	0,077
Ca1,5	0,218	0,230	0,061								
Car	0,184	0,150	0,035	0,110	0,013	0,180	0,034	0,190	0,059	0,280	0,088
Ca2,5	0,188	0,170	0,033								
Ca3	0,064	NC	NC	0,140	0,045	0,170	0,082	0,130	0,039	0,150	0,031
Ar6	NC	NC	NC								
Ar7,5	0,142	0,180	0,061								
Car	0,184	0,150	0,035	0,110	0,013	0,180	0,034	0,190	0,059	0,280	0,088
Ar10,5	0,145	0,190	0,055								
Ar12	0,181	0,210	0,092								

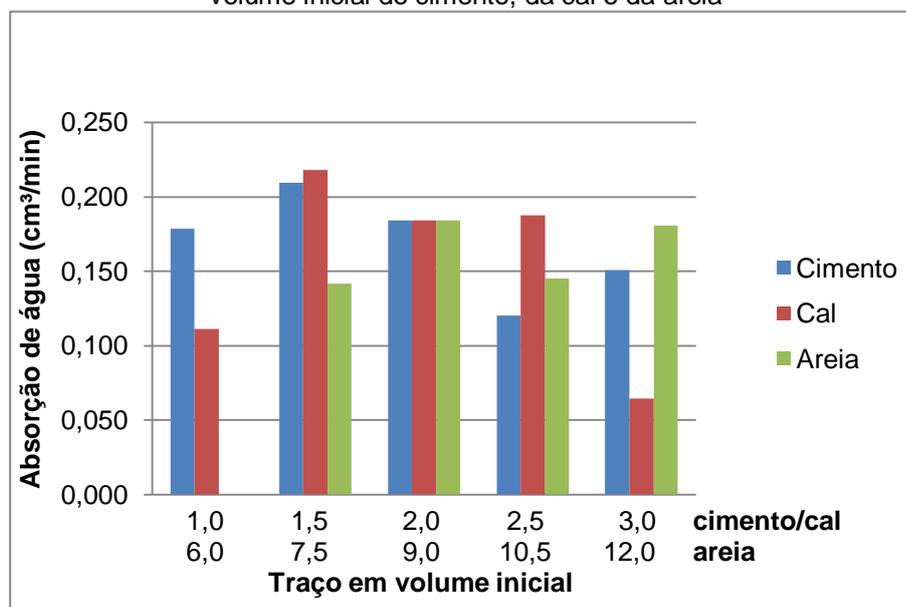
NC – Não concluído

dp – desvio padrão

#### 4.3.1 Absorção de água pelo método do cachimbo

No gráfico 4.12, é mostrada a variação média da absorção de água pelo método do cachimbo em função do incremento do cimento, da cal e da areia.

Gráfico 4.12 – Absorção de água pelo método do cachimbo em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia



A absorção de água pelo método do cachimbo apresentou variações muito elevadas nas leituras de todas as argamassas. Apesar do uso do anel Oring para limitar a seção da água em contato com a argamassa de revestimento, algumas argamassas apresentaram vazios que aceleravam a leitura e, por esse motivo, das três leituras efetuadas a que mais se distanciava das outras foi descartada e a média foi feita com as duas leituras restantes.

Apesar dos cuidados na seleção das leituras, devido à acelerada absorção da água em alguns pontos das argamassas de revestimento, os resultados obtidos não foram satisfatórios e por esse motivo foram desconsiderados nesta pesquisa.

### 4.3.2 Resistência de aderência à tração

No gráfico 4.13, observa-se a variação da aderência à tração em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia para as observações sem tratamento.

No gráfico 4.14, observa-se a variação da aderência à tração em função dos tipos de tratamentos propostos.

Gráfico 4.13 – Aderência à tração para as paredes sem tratamento em função da variação do traço em volume inicial do cimento, da cal e da areia

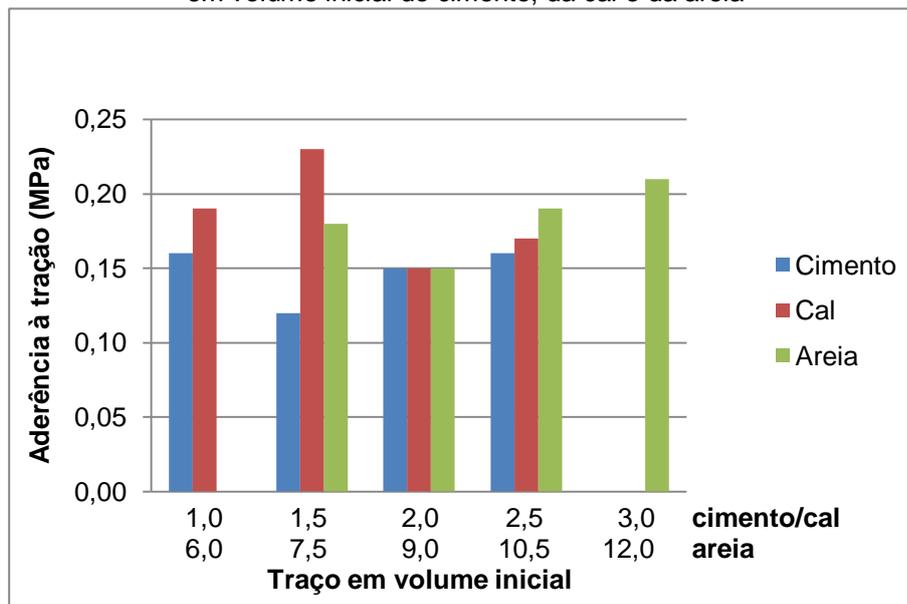
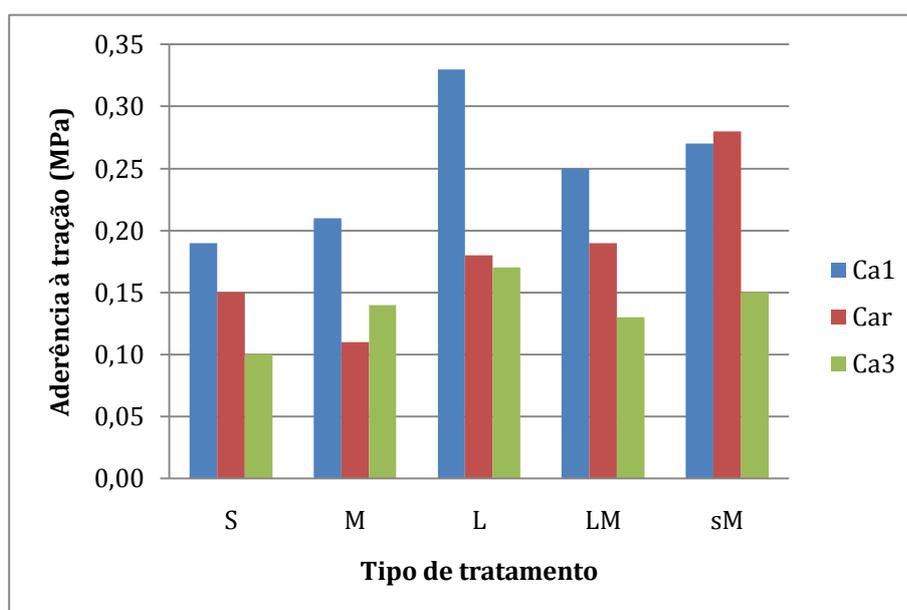


Gráfico 4.14 – Aderência à tração para as paredes com tratamento em função do tipo de tratamento



Pôde-se observar que com o incremento do cimento, a resistência de aderência à tração (gráfico 4.14) e a exsudação (gráfico 4.3) não sofreram muitas variações. Também na variação máxima proposta para o cimento (gabela 4.3) não houve nenhuma aderência, apesar de se verificar uma boa retenção de água (gráfico 4.2).

Com o incremento da cal, a resistência de aderência à tração tende a diminuir (gráfico 4.14), tendo o melhor valor médio de aderência na pesquisa na argamassa Ca1,5 (1:0,75:4,5); sendo a exsudação (gráfico 4.3) neste incremento bem reduzida, apesar de o teor de ar incorporado (gráfico 4.5) não apresentar variação significativa.

Com o incremento da areia, a resistência de aderência à tração (gráfico 4.14) tende a melhorar apesar de o primeiro incremento da areia não apresentar aderência e exsudação (gráfico 4.3). Esse incremento mostrou-se em elevação assim como o teor de ar incorporado (gráfico 4.5) e apresentou, também, uma redução na retenção de água (gráfico 4.2).

As argamassas Ar6 (1:1:3) e Ci3 (1:0,66:3) com baixo consumo de areia e a Ca3 (1:1,5:4,5) com alto consumo de cal não apresentaram bom desempenho. A argamassa Ar6 teve todos os corpos de prova soltos durante a furação; a Ci3, de doze corpos de prova, nove se soltaram durante a furação e dois na operação; já na argamassa Ca3 nove se soltaram durante a furação.

As argamassas Ca1 (1:0,5:4,5), Ca1,5 (1:0,75:4,5) Ar10,5 (1:1:5,25) e Ar12 (1:1:6), com consumo de areia entre 4,5 e 6 e consumo de cal entre 0,5 e 1, com exceção da argamassa Car (1:1:4,5), obtiveram os melhores desempenhos.

### 4.3.3 Tratamento estatístico dos dados

Na tabela 4.4, encontra-se a análise do tratamento estatístico dos resultados das resistências de aderência para a variação da quantidade de cimento (Ci), de areia (Ar) e de cal (Ca) com os tratamentos propostos.

Tabela 4.4 – Tratamento estatístico das resistências de aderência

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de liberdade	Média Quadrática	F <sub>0</sub> calculado	F tabelado
Cimento	0,4827	3	0,1609	65,696	2,39
Erros	0,0636	26	0,0024		
Total	0,5464	29			
Areia	0,9874	3	0,32914	75,926	2,92
Erros	0,1300	30	0,00433		
Total	1,1174	33			
Cal	0,169	2	0,085	20,039	3,07
Tratamentos	0,11	4	0,027		
Interação	0,138	8	0,017		
Erro	0,41	97	0,004	4,0852	
Total	0,827	111			
Paredes	0,57758747	22	0,026254		
Erros	0,687844	165	0,0041688		
Total	1,265432	187			

Na primeira parte da tabela, verificou-se o comportamento das resistências de aderência à tração com a variação do cimento. Na segunda parte, a variação da areia; e na terceira, a variação da cal com os tratamentos propostos.

Na quarta parte da tabela, verificaram-se todas as variações (cimento, cal, areia e tratamentos) que foi denominada parede.

Como todos os F<sub>0</sub> calculados são superiores aos F tabelados, significa dizer que as variações nas quantidades de cimento (Ci), cal (Ca), areia (Ar) e os tratamentos pesquisados influenciam nas resistências de aderência e mostrando que os resultados obtidos são expressivos.

## 5 CONCLUSÕES

Conforme previsto inicialmente, no estado fresco, todas as argamassas apresentaram boa consistência e retenção de água. O incremento da cal reduziu a exsudação; já com o incremento do cimento e da cal nas argamassas, houve um aumento da densidade no estado fresco.

No estado endurecido, as densidades de massa das argamassas tiveram um comportamento de acordo com o esperado. Verificou-se um aumento de densidade devido ao incremento do cimento e uma redução da mesma com o incremento da areia.

Ainda no estado endurecido, observou-se que com o incremento de cimento houve um acréscimo nas resistências de tração à flexão e à compressão, e o inverso aconteceu com o incremento da areia.

O coeficiente de capilaridade das argamassas reduziu com o incremento do cimento e da cal, mostrando argamassas mais densas, apresentando também, uma redução com o incremento da areia.

A absorção de água pelo método do cachimbo ficou prejudicada provavelmente porque na hora do assentamento das argamassas não houve o aperto que os oficiais exercem sobre a argamassa para garantir sua fixação e faltou ainda o alisamento com a desempenadeira de madeira que torna a superfície mais lisa e estanque. Apesar de terem sido selecionadas duas das três medidas feitas para determinação do índice de absorção, os resultados finais não se mostraram confiáveis e por esse motivo nada se pôde concluir.

Devido ao sistema adotado para o lançamento da argamassa no bloco de concreto celular autoclavado, a trabalhabilidade das mesmas ficou difícil de ser verificada, pois, com a queda da argamassa na vertical, ao invés de o lançamento na horizontal, não foi possível verificar a aderência inicial que fixa a argamassa fresca ao substrato, bem como o tempo inicial de cura que possibilita a retirada do excesso de argamassa e o acabamento final da superfície.

Estatisticamente, observou-se que todos os resultados da resistência de aderência à tração, em função das variações do cimento, da cal, da areia e dos tratamentos

propostos foram válidos. Faz-se necessário, no entanto, ressaltar que somente as argamassas sem nenhum tratamento (S) Ca1,5 e Ar12; as argamassas Ca1, com molhagem para melhorar a cura da argamassa (M); a argamassa Ca1, com lavagem de substrato e molhagem do revestimento (LM); e as argamassas Ca1 e Car com molhagem do substrato (sM) apresentaram valores acima de 0,20 MPa. A única argamassa que apresentou resistência de aderência à tração acima de 0,30 MPa foi a Ca1 com lavagem do substrato (L).

Das argamassas sem tratamento pesquisadas, a argamassa Ca1,5 (1:0,75:4,5) obteve o melhor desempenho de aderência à superfície, sendo recomendada sua utilização. É importante registrar que todos os tratamentos propostos melhoraram a aderência das argamassas ao substrato com exceção da argamassa Car que recebeu molhagem após assentada.

O tratamento de lavagem 24 horas antes de aplicação da argamassa de revestimento para a retirada do pó da superfície, e da molhagem no momento do lançamento da argamassa de revestimento para evitar a excessiva absorção da água do interior da argamassa, formam ótimas opções de tratamento para melhora da aderência das argamassas ao bloco de CCA, sendo doravante recomendados esses tratamentos quando da utilização do referido substrato nas edificações.

## 6 SUGESTÕES

Após a realização deste experimento recomenda-se:

- 1 - que não seja utilizado o dispositivo de lançamento das argamassas usado nesta pesquisa, pois com a falta do lançamento na vertical fica prejudicada a verificação da trabalhabilidade, da aderência inicial (que fixa a argamassa no estado fresco ao substrato) e da verificação da quantidade de água que possibilita a trabalhabilidade;
- 2 - que outros substratos de CCA sejam pesquisados principalmente o C 45 usado em alvenaria estrutural;
- 3 - que outros tipos de tratamentos sejam pesquisados como a retirada do pó da superfície do bloco de CCA com uso de vassoura; e
- 4 - que seja pesquisado o uso de chapisco em lugar de tratamentos.

## 7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 3468**: Gesso para construção – Determinação das propriedades físicas do pó. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 5735**: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, 1991b.

\_\_\_\_\_. **NBR 6467**: Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 7175**: Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

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

\_\_\_\_\_. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005b.

\_\_\_\_\_. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005c.

\_\_\_\_\_. **NBR 13280**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro, 2005d.

\_\_\_\_\_. **NBR 13438**: Bloco de concreto celular autoclavado. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_. **NBR 13439**: Bloco de concreto celular autoclavado – Verificação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1995b.

\_\_\_\_\_. **NBR 13440**: Bloco de concreto celular autoclavado – Verificação da densidade de massa aparente seca. Rio de Janeiro, 1995c.

\_\_\_\_\_. **NBR 13528**: Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 13529**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995d.

\_\_\_\_\_. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005e.

\_\_\_\_\_. **NBR 15259:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005f.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-2:** Componentes cerâmicos – Parte 2: Bloco cerâmico para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2005g.

\_\_\_\_\_. **NBR 15270-3:** Componentes cerâmicos – Parte 3: Bloco cerâmico para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2005h.

\_\_\_\_\_. **NBR 15558:** Concreto – Determinação da exsudação. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 23:** Cimento portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 45:** Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 52:** Agregado Miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009b.

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

BAVARESCO, C. R. **Utilização de entulho reciclado para produção de argamassas.** 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BARNETT, P. E. R.E. **Autoclaved Aerated Concrete:** a lime-based technology. International Building Lime Symposium, 2005, Orlando. Flórida, 2005.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Etiquetagem de Eficiência Energética de Edificações,** 2009a. Disponível em < [http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/arquivos/1\\_Apresentacao\\_Etiquetagem.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/eletrobras/etiquetagem/arquivos/1_Apresentacao_Etiquetagem.pdf)>. Acesso em: 07 abr. 2010.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos,** 2009b. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001462.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2010.

CALHAU, E. L. **Argamassas de revestimento com aditivo incorporador de ar:** Propriedades e Recomendações. 132f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

- CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos**: Avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo de ligação. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimentos**: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo, IPT, 1995.
- GUIMARÃES, J. E. P. **A cal**: Fundamentos e aplicações na engenharia civil. São Paulo: PINI, 1997.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: Microestrutura, Propriedades e Materiais. 3. ed. São Paulo: Ibracon, 2008.
- MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**, 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- MOTA, J. A. R. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto celular autoclavado e blocos de concreto**: influencia da junta vertical na resistência à compressão de prismas. 169f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.
- MOTA, J. M. F.; SILVA, A.; J.; C.; CARASEK, E.; BARBOSA, F. R. Análise em obra da resistência de aderência de revestimentos de argamassa com o preparo do substrato com solução de cal e chapisco. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE PATOLOGÍA, 10., y CONGRESO DE CALIDAD EM LA CONSTRUCCIÓN, 12., 2009, Valparaíso, Chile. **Anais...** Valparaíso: CONPAT, 2009.
- PETRAUSKI, S. M. F. C.; TAUBE, C. R.; GAVA, G. P. Avaliação das propriedades de uma argamassa de revestimento industrializada em comparação a uma argamassa produzida em obra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003.
- PETRUCCI, E. G. R. **Concreto de cimento portland**. 7. ed. Porto Alegre: Globo, 1980.
- QUARCIONI, V. A.; CINCOTTO, M. A. Influência da cal em propriedades mecânicas de argamassas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 6., 2005, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis, 2005. p. 233-250.
- RIPPER, E. **Manual prático de materiais de construção**. São Paulo: PINI, 1995.
- SABBATINI, F. H.; MACIEL, L. L.; BARROS, M. M. S. B. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassa para paredes de vedação internas e exteriores e tetos**. São Paulo, 1998
- SILVA, N. G. **Argamassa de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária**. 121f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** 197f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

## ANEXO A

### Caracterização do bloco de concreto celular autoclavado C25

#### Densidade de massa e resistência à compressão

Corpo de prova	Dimensões (mm)			Massa (g)	Densid. de massa (Kg/m <sup>3</sup> )	Carregamento (N)	Resist. à compr. (MPa)
	Base	Comprimento	Altura				
1	100	99	100	440,8	445	14900	1,51
2	100	100	100	431,7	432	20400	2,04
3	100	100	100	430,6	431	14600	1,46
4	101	100	101	435,8	436	17200	1,70
5	99	100	100	444,1	449	22700	2,29
6	101	100	101	437,9	429	17200	1,70
Média					437		1,78
Desvio padrão					8,17		0,32

#### Índice de absorção de água

Cp	Dimensões			Massa (g)				Índice de absorção	
	B (cm)	C (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Inicial	Seca	Úmida		Inicial g/193,55 cm <sup>2</sup>	Total (%)
						60 seg	24 hs		
1	10,2	10,2	104,0	507,2	493,7	508,5	764,8	27,54	54,91
2	10,1	10,2	103,0	465,9	452,1	469,1	720,8	31,95	59,43
3	10,2	10,4	106,1	512,3	495,4	514,9	799,8	35,57	61,45
4	9,7	10,4	100,9	436,0	424,2	436,1	725,1	22,83	70,93
5	9,9	10,2	101,0	486,6	474,1	487,9	738,6	26,45	55,79
6	10,3	10,4	107,0	485,3	472,4	483,8	742,9	20,62	57,26
Média				570,6	545,4	563,3	819,1	27,49	59,96
Desvio padrão								5,57	5,88

#### Resistência de aderência à tração

Diâmetros (mm)			Carregamento (N)	Resist. de aderência (MPa)
d1	d2	dm		
49,9	49,9	49,9	509	0,26
49,5	49,5	49,5	597	0,31
49,5	50,0	49,8	676	0,35
49,5	49,5	49,5	882	0,46
50,0	50,0	50,0	754	0,38
49,6	49,6	49,6	441	0,23
50,0	50,0	50,0	578	0,29
49,6	49,4	49,5	509	0,26
49,0	49,5	49,3	568	0,30
49,2	49,4	49,3	646	0,34

Resistência média = 0,32 MPa

dp = 0,0676 MPa

Todas as rupturas no substrato

## Anexo A

### Caracterização do bloco de concreto celular autoclavado C45

#### Densidade de massa e resistência à compressão

Corpo de prova	Dimensões (mm)			Massa (g)	Densid. de massa (Kg/m <sup>3</sup> )	Carrega-mento (N)	Resist. à compr. (MPa)
	Base	Comprimento	Altura				
1	99	99	100	541,5	552	27500	2,80
2	100	99	100	553,8	559	23100	2,33
3	99	100	99	542,9	548	21600	2,18
4	100	100	100	565,2	565	25100	2,51
5	100	100	100	552,4	552	21700	2,17
6	100	100	100	567,9	568	21700	2,17
Média					557		2,36
Desvio padrão					7,99		0,25

#### Índice de absorção de água

Corpo de prova	Dimensões			Massa (g)				Índice de absorção	
	Base (cm)	Compr (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Inicial	Seca	Úmida		Inicial g/193,55 cm <sup>2</sup>	Total (%)
						60 seg	24 hs		
1	10,1	10,2	103,0	584,3	550,7	567,7	859,7	31,95	56,11
2	10,0	10,1	101,0	596,1	567,2	584,7	886,9	33,54	56,36
3	10,1	9,4	94,9	528,9	521,7	535,1	837,0	27,33	60,44
4	10,2	9,5	96,9	541,4	511,8	535,4	830,8	47,14	62,33
5	10,2	10,1	103	585,8	561,2	578,8	885,6	33,07	57,80
6	10,1	10,2	103	587,2	559,9	578,2	884,5	34,39	57,97
Média				482,2	468,7	483,9	748,7	34,57	58,50
Desvio padrão								6,64	2,43

#### Resistência de aderência à tração

Diâmetros (mm)			Carrega-mento (N)	Resist. de aderência (MPa)
d1	d2	dm		
49,7	49,2	49,5	666	0,35
49,5	49,4	49,5	1.107	0,58
49,5	49,3	49,4	803	0,42
49,7	49,7	49,7	823	0,42
49,5	49,4	49,5	1.078	0,56
49,8	49,5	49,7	833	0,43
49,6	49,6	49,6	803	0,42
49,6	49,4	49,5	931	0,48
49,7	49,5	49,6	558	0,29
50,0	49,6	49,8	784	0,40

Resistência média = 0,45 MPa

dp = 0,0874 MPa

Todas as rupturas no substrato

## Anexo B

### Resultados das argamassas no estado fresco

#### Consistência

Argamassas	Medições			Média
	1ª	2ª	3ª	
Ci1	258	255	252	257
Ci1,5	271	260	260	266
Ci2,5	259	261	263	261
Ci3	250	248	241	244
Ca1	281	281	286	283
Ca1,5	284	286	280	283
Car	276	272	266	270
Ca2,5	269	259	250	260
Ca3	236	227	228	230
Ar6	225	222	222	223
Ar7,5	273	267	255	265
Ar10,5	287	271	275	278
Ar12	266	263	265	265

#### Exsudação

	Tara	início	30 min	40 min	1:10 hs	1:40 hs	Resultado (%)
Ci1	385,0	1.954,8	1.953,3	1.951,6	1.949,2	1.947,5	3,15
Ci1,5	384,50	1.914,7	1.913,3	1.912,1	1.910,0	1.907,3	3,38
Ci2,5	384,49	1.996,9	1.996,2	1.995,7	1.994,4	1.993,2	1,70
Ci3	384,48	1.987,5	1.987,5	1.986,2	1.985,1	1.983,4	1,93
Ca1	384,40	1.975,5	1.971,4	1.969,5	1.964,8	1.960,1	6,45
Ca1,5	384,56	1.966,5	1.964,4	1.963,5	1.961,0	1.958,3	3,67
Car	384,96	1.970,0	1.968,6	1.967,6	1.965,2	1.963,0	3,18
Ca2,5	384,52	2.008,9	2.008,5	2.008,5	2.007,3	2.006,1	1,26
Ca3	384,53	2.041,3	2.040,8	2.040,6	2.039,5	2.038,4	1,29
Ar6	384,4	2.109,3	2.109,0	2.108,7	2.107,8	2.107,2	1,04
Ar7,5	384,5	2.011,3	2.010,3	2.009,8	2.008,4	2.006,9	2,01
Ar10,5	384,4	2.008,0	2.006,2	2.005,3	2.002,7	2.000,3	3,35
Ar12	384,57	1.949,4	1.946,1	1.9450,1	1.940,8	1.936,1	5,85

## Anexo C

### Resultados das argamassas no estado endurecido

Argamassa	Densidade de Massa Corpos de prova (Kg,m <sup>3</sup> )			Média (Kg,m <sup>3</sup> )
	1	2	3	
Ci1	1.753	1.748	1.738	1.746
Ci1,5	1.761	1.796	1.788	1.782
Ci2,5	1.875	1.864	1.864	1.868
Ci3	1.931	1.919	1.923	1.924
Ca1	1.850	1.850	1.860	1.853
Ca1,5	1.813	1.807	1.795	1.805
Car	1.870	1.861	1.858	1.863
Ca2,5	1.835	1.837	1.844	1.839
Ca3	1.857	1.850	1.836	1.848
Ar6	1.923	1.931	1.926	1.927
Ar7,5	1.889	1.879	1.868	1.879
Ar10,5	1.813	1.788	1.783	1.795
Ar12	1.774	1.765	1.765	1.768

Argamassa	Tração na Flexão Corpos de prova (MPa)			Média (MPa)
	1	2	3	
Ci1	0,63	0,51	0,70	0,61
Ci1,5	2,06	2,25	2,70	2,34
Ci2,5	5,78	5,63	5,16	5,52
Ci3	3,89	3,82	3,56	3,76
Ca1	2,39	2,39	2,25	2,34
Ca1,5	2,34	2,30	2,20	2,28
Car	1,92	1,92	2,06	1,97
Ca2,5	2,58	2,81	2,58	2,66
Ca3	2,53	2,29	2,29	2,34
Ar6	3,98	4,22	3,79	4,00
Ar7,5	3,19	3,66	3,47	3,44
Ar10,5	2,30	2,06	2,34	2,23
Ar12	1,73	1,83	1,74	1,77

## Anexo C

### Resultados das argamassas no estado endurecido

#### Compressão

Argamassa	Corpos de prova (MPa)			Média (MPa)
	1	2	3	
Ci1	1,97	1,94	2,19	2,03
Ci1,5	6,78	6,39	7,20	6,79
Ci2,5	11,31	11,69	11,69	11,56
Ci3	15,06	14,59	13,00	14,22
Ca1	7,41	7,53	7,78	7,57
Ca1,5	7,97	7,06	7,00	7,34
Car	7,63	7,75	7,56	7,65
Ca2,5	8,31	8,34	8,19	8,28
Ca3	9,25	8,63	8,44	8,77
Ar6	14,4	14,3	13,5	14,1
Ar7,5	11,6	12,1	11,7	11,8
Ar10,5	6,91	6,84	7,38	7,04
Ar12	5,28	5,31	5,22	5,27

## Anexo C

### Resultados das argamassas no estado endurecido

#### Absorção de Água por Capilaridade e Coeficiente de capilaridade

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	Ci1	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	
1	4,1	4,1	16,8	486,25	498,90	513,20	0,75	1,60	14,30
2	4,2	4,2	17,6	470,73	481,46	496,80	0,61	1,48	15,34
3	4,1	4,1	16,8	470,47	481,28	496,70	0,64	1,56	15,42
Média			17,1	475,82	487,21	502,23	0,67	1,54	15,02

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	Ci1,5	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	
1	4,2	4,2	17,6	495,5	502,9	515,0	0,42	1,11	12,10
2	4,1	4,1	16,8	484,5	491,9	503,3	0,44	1,12	11,40
3	4,1	4,1	16,8	497,4	504,3	514,7	0,41	1,03	10,44
Média			17,1	492,47	499,70	511,00	0,42	1,09	11,31

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	Ci2,5	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	
1	4,3	4,2	18,1	514,2	519,2	525,8	0,28	0,64	11,6
2	4,1	4,1	16,8	506,5	512,0	520,2	0,33	0,82	13,7
3	4,1	4,1	17,2	504,5	510,2	518,8	0,33	0,83	14,3
Média			17,4	508,4	513,8	521,6	0,31	0,76	13,2

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	Ci3	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	
1	4,2	4,2	17,6	525,0	529,8	535,7	0,27	0,61	5,9
2	4,1	4,2	17,2	517,4	522,5	529,5	0,30	0,70	7,0
3	4,2	4,2	17,6	530,1	535,7	542,8	0,32	0,72	7,1
Média			17,5	508,4	513,8	521,6	0,31	0,68	6,7

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	Ca1	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	
1	4,0	4,0	16,0	468,7	474,8	483,1	0,38	0,90	14,4
2	4,0	4,1	16,4	473,5	478,5	488,5	0,30	0,91	15,0
3	4,0	4,1	16,4	473,2	479,8	490,4	0,40	1,05	17,2
Média			16,3	491,3	477,6	487,3	0,36	0,95	15,5

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	Ca1,5	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	
1	4,0	4,2	16,8	493,1	499,2	508,0	0,36	0,89	8,9
2	4,1	4,2	17,2	509,3	515,4	524,2	0,35	0,87	8,8
3	4,0	4,1	16,4	499,1	504,9	513,0	0,36	0,85	8,1
Média			16,8	491,3	499,3	511,1	0,41	0,87	8,6

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	Car	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	
1	4,1	4,2	17,2	490,2	498,1	509,0	0,46	1,09	10,9
2	4,1	4,2	17,2	482,0	489,6	501,6	0,44	1,14	12,0
3	4,1	4,2	17,2	501,8	510,2	522,6	0,49	1,21	12,4
Média			17,2	491,3	499,3	511,1	0,46	1,15	11,77

## Anexo C

### Resultados das argamassas no estado endurecido

#### Absorção de Água por Capilaridade e Coeficiente de capilaridade

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>90</sub>	
Ca2,5									
1	4,2	4,2	17,6	506,7	512,0	521,7	0,30	0,85	9,7
2	4,2	4,2	17,6	506,0	511,4	519,1	0,31	0,74	7,7
3	4,2	4,1	17,2	496,8	502,1	509,7	0,31	0,75	7,6
Média			16,8	503,2	508,5	516,8	0,31	0,78	8,3

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>90</sub>	
Ca3									
1	4,0	4,1	16,4	483,0	487,4	493,9	0,27	0,66	6,5
2	4,0	4,1	16,4	474,3	479,5	487,0	0,31	0,77	7,5
3	4,0	4,1	16,4	475,2	480,3	487,4	0,31	0,74	7,1
Média			16,4	477,5	482,4	489,4	0,30	0,72	7,0

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>90</sub>	
Ar6									
1	4,0	4,0	16,0	501,7	504,1	507,3	0,16	0,35	3,2
2	4,0	4,1	16,4	501,4	503,7	508,2	0,14	0,41	4,5
3	4,0	4,1	16,4	500,7	503,1	506,4	0,15	0,35	5,7
Média			16,3	501,3	503,6	507,3	0,15	0,37	4,5

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>90</sub>	
Ar7,5									
1	4,0	4,1	16,4	521,7	523,1	529,2	0,09	0,45	6,1
2	4,0	4,0	16,0	510,3	513,9	518,2	0,23	0,49	4,4
3	4,0	4,0	16,0	519,6	524,8	527,7	0,33	0,51	8,1
Média			16,1	501,3	503,6	507,3	0,15	0,48	6,2

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>90</sub>	
Ar10,5									
1	4,2	4,1	17,2	491,4	496,4	504,7	0,29	0,77	13,3
2	4,2	4,1	17,2	479,8	484,9	492,9	0,30	0,76	13,1
3	4,3	4,1	17,6	490,3	495,3	503,8	0,28	0,76	13,5
Média			17,3	487,2	492,2	500,5	0,29	0,76	13,3

CP	medidas (cm)			Massa (g)			Absorção		Coeficiente
	L1	L2	área	m <sub>o</sub>	m <sub>10</sub>	m <sub>90</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>90</sub>	
Ar12									
1	4,0	4,1	16,4	463,1	469,3	479,6	0,38	1,01	10,3
2	4,0	4,1	16,4	462,0	468,2	478,9	0,38	1,03	10,7
3	4,0	4,1	16,4	461,2	467,6	477,8	0,39	1,01	10,2
Média			16,4	462,1	478,4	478,8	0,38	1,02	10,4

## Anexo D

### Resultados da argamassa no estado assentado em substrato

#### Absorção d'água pelo método do cachimbo

##### Argamassa Ci1 sem tratamento

Tempo (min)	Leituras (cm <sup>3</sup> )			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	1,0	0,4	0,5	0,45
2	1,5	0,7	0,8	0,75
3	1,9	1,0	1,0	1,00
4	2,2	1,2	1,3	1,25
5	2,6	1,3	1,5	1,40
6	2,9	1,5	1,7	1,60
7	3,3	1,6	1,9	1,75
8	3,5	1,8	2,0	1,90
9	3,8	2,0	2,2	2,10
10	4,0	2,2	2,4	2,20
11		2,3	2,6	2,45
12		2,4	2,7	2,55
13		2,6	2,9	2,75
14		2,8	3,0	2,90
15		2,9	3,2	3,05

Despr. 1<sup>a</sup> Leit.  
 $Ci1 = 0,4529 + 0,1784 T$

##### Argamassa Ci1,5 sem tratamento

Tempo (min)	Leituras (cm <sup>3</sup> )			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	0,5	0,5	0,8	0,50
2	0,9	0,8	1,3	0,85
3	1,2	1,0	1,7	1,10
4	1,4	1,2	2,0	1,30
5	1,6	1,5	2,3	1,55
6	1,8	1,7	2,6	1,75
7	2,0	1,9	2,9	1,95
8	2,3	2,1	3,2	2,20
9	2,5	2,3	3,5	2,40
10	2,7	2,5	3,8	2,60
11	2,9	2,7	4,0	2,80
12	3,1	2,9		3,00
13	3,3	3,0		3,15
14	3,4	3,2		3,30
15	3,6	3,4		3,50

Despr. 3<sup>a</sup> Leit. 4,0 cm<sup>3</sup>/11 min  
 $Ci1,5 = 0,4543 + 0,2095 T$

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Absorção d'água pelo método do cachimbo

##### Argamassa Ci2,5 sem Tratamento

Tempo (min)	Leituras (cm <sup>3</sup> )			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	0,2	0,4	0,4	0,33
2	0,4	0,6	0,6	0,53
3	0,6	0,8	0,7	0,70
4	0,8	0,9	0,7	0,80
5	0,9	1,0	0,7	0,87
6	1,0	1,1	0,8	0,97
7	1,1	1,2	0,9	1,07
8	1,2	1,4	1,0	1,20
9	1,4	1,5	1,0	1,30
10	1,5	1,6	1,1	1,40
11	1,6	1,7	1,2	1,50
12	1,8	1,7	1,3	1,60
13	1,9	1,8	1,4	1,70
14	2,0	1,9	1,4	1,77
15	2,1	2,0	1,5	1,87
$Ci_{2,5} = 0,3071 + 0,1204T$				

##### Argamassa 1Ci3 sem tratamento

Tempo (min)	Leituras (cm <sup>3</sup> )			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	0,4	0,2	0,4	0,33
2	0,7	0,3	0,6	0,53
3	0,9	0,4	0,8	0,70
4	1,1	0,5	0,9	0,83
5	1,3	0,6	1,0	0,97
6	1,5	0,7	1,1	1,10
7	1,7	0,8	1,2	1,23
8	1,8	0,9	1,4	1,37
9	2,0	1,0	1,6	1,53
10	2,2	1,1	1,7	1,67
11	2,3	1,2	1,8	1,77
12	2,5	1,2	1,9	1,87
13	2,6	1,3	2,0	1,97
14	2,8	1,4	2,1	2,10
15	2,9	1,5	2,2	2,20
$Ci_3 = 0,3729 + 0,1509 T$				

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Absorção d'água pelo método do cachimbo

##### Argamassa Ca1 sem tratamento

Tempo (min)	Leituras (cm <sup>3</sup> )			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	0,4	0,5	0,4	0,40
2	0,5	0,8	0,6	0,60
3	0,7	1,0	0,7	0,70
4	0,8	1,1	0,9	0,85
5	0,9	1,3	1,0	0,95
6	1,0	1,4	1,2	1,10
7	1,1	1,5	1,3	1,20
8	1,2	1,7	1,4	1,30
9	1,3	1,8	1,5	1,40
10	1,4	1,9	1,6	1,50
11	1,5	2,0	1,7	1,60
12	1,6	2,1	1,8	1,70
13	1,7	2,3	1,9	1,80
14	1,8	2,4	2,0	1,90
15	1,9	2,5	2,1	2,00

Selecionadas a 1<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> leituras  
 $Ca1S = 0,3733 + 0,1113T$

##### Argamassa Ca1,5 sem tratamento

Tempo (min)	Leituras (cm <sup>3</sup> )			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	0,6	0,6	0,6	0,60
2	0,8	1,0	1,0	0,90
3	1,0	1,3	1,4	1,15
4	1,2	1,6	1,7	1,40
5	1,4	1,8	2,1	1,60
6	1,7	2,0	2,4	1,85
7	1,9	2,3	2,7	2,10
8	2,2	2,5	3,0	2,35
9	2,4	2,7	3,2	2,55
10	2,6	2,9	3,5	2,75
11	2,7	3,1	3,8	2,90
12	2,9	3,4	4,0	3,15
13	3,1	3,6		3,35
14	3,3	3,7		2,50
15	3,4	3,9		3,65

Selecionadas a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> leituras  
 $Ca1,5S = 0,5076 + 0,2182T$   $R^2 = 0,9587$

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Absorção d'água pelo método do cachimbo

##### Argamassa Car sem tratamento

Tempo (min)	Leituras (cm <sup>3</sup> )			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	0,6	0,4	0,5	0,55
2	0,9	0,5	0,8	0,85
3	1,2	0,7	1,0	1,10
4	1,4	0,9	1,2	1,30
5	1,6	1,0	1,4	1,50
6	1,8	1,1	1,6	1,70
7	2,0	1,2	1,7	1,85
8	2,2	1,3	1,9	2,05
9	2,5	1,5	2,1	2,30
10	2,6	1,7	2,2	2,40
11	2,7	1,8	2,4	2,55
12	2,9	1,9	2,6	2,75
13	3,1	2,0	2,7	2,90
14	3,2	2,1	2,9	3,05
15	3,4	2,2	3,0	3,20

Selecionadas a 1<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> leituras  
 $CarS = 0,5305 + 0,1841T$

##### Argamassa Ca2,5 sem tratamento

Tempo (min)	Leituras (cm <sup>3</sup> )			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	0,5	0,4	0,3	0,45
2	0,7	0,7	0,5	0,70
3	1,0	0,9	0,7	0,95
4	1,2	1,1	0,8	1,15
5	1,4	1,4	1,0	1,40
6	1,6	1,5	1,1	1,55
7	1,8	1,7	1,6	1,75
8	2,0	1,8	1,3	1,90
9	2,2	2,0	1,4	2,10
10	2,4	2,1	1,6	2,25
11	2,6	2,3	1,7	2,45
12	2,8	2,5	1,8	3,55
13	2,9	2,7	1,9	2,80
14	3,1	2,8	2,1	2,95
15	3,3	3,0	2,3	3,15

Selecionadas a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> leituras  
 $Ca2,5S = 0,3786 + 0,1877T$

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Absorção d'água pelo método do cachimbo

##### **Argamassa Ca3 sem tratamento**

Tempo (min)	Leituras (cm <sup>3</sup> )			média
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	
1	0,1			0,10
2	0,2			0,20
3	0,3			0,30
4	0,4			0,40
5	0,4			0,40
6	0,5			0,50
7	0,6			0,60
8	0,6			0,60
9	0,7			0,70
10	0,8			0,80
11	0,8			0,80
12	0,9			0,90
13	0,9			0,90
14	1,0			1,00
15	1,0			1,00

Selecionada a 1<sup>a</sup>. argamassa  
Descolamento do substrato  
 $Ca3S = 0,099 + 0,0643T$

##### **Argamassa Ar6 sem tratamento.**

A argamassa descolou do substrato. Retração separando a argamassa

##### **Argamassa Ar7,5 sem tratamento**

Tempo (min)	Leituras (ml)			média
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	
1	0,4	0,2	0,7	0,30
2	0,6	0,4	1,0	0,50
3	0,8	0,6	1,3	0,70
4	1,0	0,8	1,6	0,90
5	1,1	1,0	1,7	1,05
6	1,3	1,1	1,9	1,20
7	1,4	1,2	2,1	1,30
8	1,6	1,4	2,2	1,50
9	1,8	1,5	2,4	1,65
10	1,9	1,6	2,5	1,75
11	2,1	1,8	2,7	1,95
12	2,3	1,9	2,8	2,10
13	2,4	2,0	3,0	2,20
14	2,5	2,1	3,1	2,30
15	2,6	2,2	3,2	2,40

Selecionadas a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> leituras  
 $Ar7,5 = 0,2548 + 0,1498 T$

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Absorção d'água pelo método do cachimbo

##### Argamassa Ar10,5 sem tratamento

Tempo (min)	Leituras (ml)			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	0,5	0,5	0,5	0,40
2	0,8	0,8	0,7	0,60
3	1,0	1,0	0,9	0,70
4	1,2	1,2	1,1	0,85
5	1,4	1,3	1,3	0,95
6	1,5	1,5	1,5	1,10
7	1,6	1,6	1,6	1,20
8	1,8	1,7	1,7	1,30
9	2,0	1,8	1,8	1,40
10	2,1	1,9	2,0	1,50
11	2,2	2,1	2,1	1,60
12	2,4	2,2	2,2	1,70
13	2,5	2,3	2,4	1,80
14	2,6	2,5	2,5	1,90
15	2,7	2,6	2,6	2,00

Selecionadas a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> leituras  
 $Ar_{10,5} = 0,5486 + 0,1452 T$

##### Argamassa Ar12 sem tratamento

Tempo (min)	Leituras (ml)			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	média
1	0,5	0,4	0,7	0,40
2	0,7	0,7	1,2	0,60
3	1,0	0,9	1,5	0,70
4	1,2	1,1	1,9	0,85
5	1,4	1,3	2,2	0,95
6	1,6	1,5	2,5	1,10
7	1,8	1,7	2,8	1,20
8	2,0	1,8	3,1	1,30
9	2,1	2,0	3,3	1,40
10	2,3	2,2	3,6	1,50
11	2,5	2,3	3,9	1,60
12	2,6	2,5		1,70
13	2,8	2,6		1,80
14	3,0	2,8		1,90
15	3,1	3,0		2,00

Selecionadas a 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> leituras  
 3<sup>a</sup> leitura – 4 ml em 11:43 min  
 $Ar_{12} = 0,4010 + 0,1807 T$

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Resistência de aderência à tração

##### Argamassa Ci1 sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
48,4	48,7	48,55	200	0,11	s/a 100
48,3	49,0	48,65	420	0,23	s/a 100
48,1	48,5	48,30	370	0,20	s/a 100
48,2	48,6	48,40	260	0,14	s/a 100
48,3	49,1	48,70	320	0,17	s/a 100
48,7	48,5	48,60	320	0,17	s/a 100
48,6	48,4	48,50	250	0,14	s/a 100
48,5	48,3	48,4	210	0,11	s/a 100

02 cp soltaram na operação – s/a entre substrato e argamassa  
 média 0,16 MPa dp = 0,042237 MPa

##### Argamassa Ci1,5 sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,5	49,7	49,6	235	0,12	s/a 100
49,5	49,6	49,6	88	0,05	s/a 100
49,1	49,5	49,3	313	0,16	s/a 100
49,5	49,5	49,5	78	0,04	s/a 100
49,3	49,4	49,4	264	0,14	s/a 100
49,4	49,3	49,4	303	0,16	s/a 100
49,4	49,4	49,4	98	0,05	s/a 100
49,4	49,6	49,5	480	0,25	s/a 100
49,2	49,4	49,3	235	0,12	s/a 100

01 cp soltou na operação – s/a entre substrato e argamassa  
 média – 0,12 MPa dp = 0,067721 MPa

##### Argamassa Ci2,5 sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
50,0	49,9	50,0	343	0,17	s/a 100
49,7	49,8	49,8	313	0,16	s/a 100
49,7	49,8	49,8	401	0,21	s/a 100
49,9	49,9	49,9	234	0,12	s/a 100
49,9	49,8	49,9	225	0,12	s/a 100

14 cp furados, 9 soltaram na furação – s/a entre substrato e argamassa  
 média – 0,16 MPa dp = 0,037815 MPa

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Resistência de aderência à tração

##### Argamassa Ci3 sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,8	49,7	49,8	294	0,15	s/a 100

12 cp furados, 09 soltaram na furação e 02 soltaram na operação – s/a entre substrato e argamassa

##### Argamassa Ca1 sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,8	49,8	49,8	323	0,16	s/a 100
49,8	49,8	49,8	431	0,22	s/a 100
49,8	49,8	49,8	509	0,26	s/a 100
49,8	49,8	49,8	509	0,26	s/a 100
49,8	49,8	49,8	450	0,23	s/a 100
49,7	49,7	49,7	235	0,12	s/a 100
49,7	49,7	49,7	372	0,19	s/a 100
49,7	49,7	49,7	254	0,13	s/a 100
49,7	49,7	49,7	294	0,15	s/a 100

10 cp furados, 01 soltou na operação – s/a entre substrato e argamassa  
média 0,19 MPa dp = 0,053955 MPa

##### Argamassa Ca1 com substrato lavado (L)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,4	49,3	49,4	568	0,30	s/a 70 s 30
49,3	49,3	49,3	813	0,43	s/a 95 s 5
49,5	49,5	49,5	294	0,15	s/a 100
49,4	49,6	49,5	842	0,44	s/a 10 s 90
49,3	49,3	49,3	754	0,40	s/a 100
49,4	49,4	49,4	392	0,20	s/a 100
49,3	49,5	49,4	862	0,45	s/a 0 s 100
49,3	49,3	49,3	607	0,32	s/a 20 s 80
49,3	49,6	49,5	735	0,39	s/a 0 s 100
49,0	49,5	49,3	382	0,20	s/a 100

s/a entre substrato e argamassa – s no substrato  
média 0,33 MPa dp = 0,111634 MPa

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Resistência de aderência à tração

##### Argamassa Ca1 com revestimento molhado (M)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,8	50,0	49,9	519	0,27	s/a 100
49,8	49,8	49,8	333	0,17	s/a 100
49,8	49,8	49,8	382	0,20	s/a 100
49,8	49,8	49,8	548	0,28	s/a 100
49,8	49,8	49,8	313	0,16	s/a 100
49,8	49,8	49,8	519	0,27	s/a 100
49,8	49,8	49,8	460	0,24	s/a 100
49,8	49,8	49,8	294	0,15	s/a 100
49,8	49,8	49,8	401	0,21	s/a 100
49,8	49,8	49,8	284	0,15	s/a 100

s/a entre substrato e argamassa

média 0,21 MPa dp = 0,052068 MPa

##### Argamassa Ca1 com substrato lavado e revestimento molhado (LM)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,7	49,5	49,6	264	0,14	s/a 80 s 20
49,6	49,6	49,6	676	0,35	s/a 0 s100
49,6	49,6	49,6	441	0,23	s/a 30 s 70
49,6	49,6	49,6	480	0,25	s/a 0 s 100
49,6	49,6	49,6	480	0,25	s/a 30 s 70
49,6	49,4	49,5	568	0,30	s/a 30 s 70
49,6	49,6	49,6	480	0,25	s/a 20 s 80
49,7	49,7	49,7	401	0,21	s/a 50 s 50
49,5	49,5	49,5	450	0,23	s/a 50 s 50
49,5	49,5	49,5	519	0,27	s/a 20 s 80

s/a entre substrato e argamassa – s no substrato

média 0,25 MPa dp = 0,055136 MPa

##### Argamassa Ca1 com substrato molhado (sM)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
50,0	50,0	50,0	343	0,17	s/a 100
50,0	50,0	50,0	539	0,27	s/a 100
50,0	50,0	50,0	499	0,25	s/a 100
50,0	50,0	50,0	323	0,16	s/a 100
49,8	49,8	49,8	480	0,25	s/a 100
50,0	50,0	50,0	499	0,25	s/a 100
50,0	50,0	50,0	460	0,23	s/a 100
50,0	50,0	50,0	764	0,39	s/a 100
50,0	50,0	50,0	529	0,27	s/a 100
50,0	50,0	50,0	764	0,39	s/a 100

s/a entre substrato e argamassa

média 0,27 MPa dp = 0,076891 MPa

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Resistência de aderência à tração

##### Argamassa Ca1,5 sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,7	49,7	49,7	372	0,19	s/a 100
49,7	49,7	49,7	294	0,15	s/a 100
49,7	49,9	49,8	499	0,26	s 45 s/a 55
49,7	49,7	49,7	597	0,31	s 5 s/a 95
49,7	49,6	49,7	509	0,26	s/a 100
49,7	49,4	49,6	450	0,26	s/a 100
49,7	49,7	49,7	470	0,24	s/a 100
49,7	49,6	49,7	580	0,30	s/a 100
49,7	49,6	49,7	539	0,28	s/a 100
49,7	49,4	49,6	254	0,13	s/a 100

s/a entre substrato e argamassa – s no substrato  
 média 0,23 MPa dp = 0,061427 MPa

##### Argamassa Car sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
50,0	50,0	50,0	245	0,12	s/a 100
49,8	49,8	49,8	215	0,11	s/a 100
50,0	50,0	50,0	372	0,19	s/a 100
50,0	50,0	50,0	294	0,15	s/a 100
49,8	49,8	49,8	254	0,13	s/a 100
50,0	49,7	49,9	401	0,21	s/a 100
50,0	50,0	50,0	254	0,13	s/a 100
49,8	49,8	49,8	254	0,13	s/a 100

10 cp furados, 1 soltou na furação e 01 na operação – s/a entre substrato e argamassa  
 média 0,15 MPa dp = 0,035431 MPa

##### Argamassa Car em substrato lavado (L)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
50,0	50,0	50,0	274	0,14	s/a 100
50,0	49,8	49,9	313	0,16	s/a 100
50,0	49,9	50,0	450	0,23	s/a 100
50,0	50,0	50,0	303	0,15	s/a 100
50,0	50,0	50,0	401	0,20	s/a 100
50,0	50,0	50,0	401	0,20	s/a 100
49,8	49,8	49,8	264	0,14	s/a 100
50,0	50,0	50,0	460	0,23	s/a 100
49,8	49,7	49,8	333	0,17	s/a 100
50,0	50,0	50,0	343	0,17	s/a 100

s/a entre substrato e argamassa  
 média 0,18 MPa dp = 0,03414 MPa

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Resistência de aderência à tração

##### Argamassa Car com revestimento molhado (M)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,7	49,8	49,8	217	0,11	s/a 100
49,7	49,7	49,7	186	0,10	s/a 100
49,7	49,5	49,6	245	0,13	s/a 100
49,7	49,8	49,8	228	0,12	s/a 100
49,7	49,7	49,7	186	0,10	s/a 100

10 cp furados, 04 soltaram na furação e 01 na operação – s/a entre substrato e argamassa  
 média 0,11 MPa  $dp = 0,013038$  MPa

##### Argamassa Car com substrato lavado e revestimento molhado (LM)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,8	49,8	49,8	548	0,29	s/a 80 s 20
49,8	49,8	49,8	284	0,16	s/a 100
49,8	50,0	49,9	333	0,17	s/a 100
49,8	50,0	49,9	313	0,16	s/a 90 s10
49,8	49,8	49,8	235	0,12	s/a 100
49,8	49,8	49,8	241	0,12	s/a 100
49,8	49,8	49,8	480	0,25	s/a 100
49,8	50,0	49,9	460	0,24	s/a 80 s 20
49,8	49,8	49,8	392	0,20	s/a 100

10 cp furados, 01 soltou na operação – s/a entre substrato e argamassa – s no substrato  
 média 0,19 MPa  $dp = 0,059372$  MPa

##### Argamassa Car em substrato lavado e revestimento molhado (SM)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
50,0	50,0	50,0	372	0,19	s/a 100
49,8	49,8	49,8	441	0,23	s/a 100
49,8	49,8	49,8	735	0,38	s/a 100
49,8	49,8	49,8	725	0,37	s/a 100
50,0	50,0	50,0	784	0,40	s/a 100
50,0	50,0	50,0	539	0,28	s/a 100
50,0	50,0	50,0	329	0,20	s/a 100
50,0	50,0	50,0	676	0,34	s/a 100
49,8	49,8	49,8	558	0,29	s/a 100
50,0	50,0	50,0	303	0,15	s/a 100

s/a entre substrato e argamassa  
 média 0,28 MPa,  $dp = 0,088198$  MPa

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Resistência de aderência à tração

##### Argamassa Ca2,5 sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,7	49,7	49,7	264	0,14	s/a 100
49,7	49,7	49,7	303	0,16	s/a 100
49,7	49,9	49,8	362	0,19	s 45 s/a 55
49,7	49,9	49,8	245	0,13	s 5 s/a 95
49,7	49,8	49,8	441	0,23	s/a 100
49,7	49,4	49,6	323	0,17	s/a 100
49,7	49,9	49,8	313	0,16	s/a 100
49,7	49,7	49,7	274	0,14	s/a 100

12 cp furados, 3 soltaram na furação e 01 na operação – s/a entre substrato e argamassa – s no substrato  
 média 0,17 MPa dp = 0,032514 MPa

##### Argamassa Ca3 sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,4	49,5	49,5	195	0,10	s/a 100

10 cp furados, 09 soltaram na furação – s/a entre substrato e argamassa  
 média 0,10 MPa – sofreu retração

##### Argamassa Ca3 com substrato lavado (L)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,8	49,8	49,8	186	0,10	s/a 100
49,8	49,8	49,8	245	0,13	s/a 100
49,8	49,8	49,8	176	0,09	s/a 100
49,8	49,8	49,8	392	0,20	s/a 100
49,9	49,9	49,9	605	0,31	s/a 100
49,7	49,8	49,8	362	0,19	s/a 100

De 10 cp, 2 soltaram na furação e 1 na operação – s/a entre substrato e argamassa  
 Média = 0,082219 MPa 0,17 MPa dp

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Resistência de aderência à tração

##### Argamassa Ca3 com revestimento molhado (M)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,7	49,7	49,7	264	0,14	s/a 100
49,3	49,4	49,4	411	0,21	s/a 100
49,8	49,8	49,8	196	0,10	s/a 100
49,7	49,3	49,5	196	0,10	s/a 100
49,8	49,7	49,8	245	0,13	s/a 100

De 10 cp, 5 soltaram na furação – s/a entre substrato e argamassa

Média 0,14 MPa  $dp = 0,045056$  MPa

##### Argamassa Ca3 com substrato lavado e revestimento molhado (LM)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
50,0	50,0	50,0	225	0,11	s/a 100
50,0	50,0	50,0	225	0,11	s/a 100
50,0	50,0	50,0	235	0,12	s/a 100
50,0	50,0	50,0	382	0,19	s/a 100

De 10 cp, 5 soltaram na furação e 1 na operação – s/a entre substrato e argamassa

Média 0,13 MPa  $dp = 0,038622$  MPa

##### Argamassa Ca3 com substrato molhado (sM)

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,6	49,8	49,7	235	0,12	s/a 100
49,8	49,8	49,8	235	0,12	s/a 100
50,0	50,0	50,0	323	0,16	s/a 100
50,0	50,0	50,0	392	0,20	s/a 100
49,8	49,8	49,8	284	0,15	s/a 100
50,0	50,0	50,0	245	0,13	s/a 100

De 10 cp, 1 soltou na furação e 3 na operação – s/a entre substrato e argamassa

média 0,15 MPa  $dp = 0,030768$  MPa

##### Argamassa Ar6 sem tratamento

Os 10 corpos de prova se soltaram na furação

## Anexo D

### Resultado da argamassa no estado assentado em substrato

#### Resistência de aderência à tração

##### Argamassa Ar7,5 sem tratamento

d1	d2	dm	Carga	Tens	Ruptura
49,6	49,4	49,5	343	0,18	s/a 100%
49,7	49,7	49,7	568	0,29	s/a 100%
49,6	49,4	49,5	352	0,18	s/a 100%
49,6	49,4	49,5	215	0,11	s/a 100%
49,4	49,4	49,4	284	0,15	s/a 100%
49,7	49,5	49,6	284	0,15	s/a 100%

10 cp – 03 soltaram na furação e 01 na operação – s/a entre substrato e argamassa

Média – 0,18 MPa dp = 0,06121 MPa

##### Argamassa Ar10,5 sem tratamento

d1	d2	dm	Car	Tens	Ruptura
49,7	49,7	49,7	264	0,14	s/a 100
49,7	49,7	49,7	470	0,24	s/a 100
49,7	49,7	49,7	313	0,16	s/a 100
49,7	49,7	49,7	460	0,24	s/a 100
49,7	49,7	49,7	323	0,17	s/a 100
49,7	49,7	49,7	225	0,12	s/a 100
49,7	49,7	49,7	548	0,28	s/a 100
49,7	49,7	49,7	264	0,14	s/a 100
49,7	49,7	49,7	401	0,21	s/a 100
49,7	49,7	49,7	460	0,24	s/a 30 s 70

s/a entre substrato e argamassa

média 0,19 MPa dp = 0,054813 MPa

##### Argamassa Ar12 sem tratamento

d1	d2	dm	Car	Tens	Ruptura
49,6	49,7	49,7	205	0,11	s/a 100
49,5	49,3	49,4	225	0,12	s/a 100
49,5	49,7	49,6	637	0,33	s/a 100
49,5	49,5	49,5	294	0,15	s/a 100
49,1	49,3	49,2	323	0,17	s/a 100
49,3	49,1	49,2	313	0,16	s/a 100
49,1	49,3	49,2	499	0,26	s/a 100
49,6	49,6	49,6	401	0,21	s/a 100
49,3	49,7	49,5	744	0,39	s/a 100
49,0	49,7	49,4	372	0,19	s/a 100

s/a entre substrato e argamassa

média 0,21 MPa dp = 0,091585 MPa