UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA, MECÂNICA DAS ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

EFEITO DO AR INCORPORADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTOS

PAULO SÉRGIO DE OLIVEIRA RESENDE

D0034C10
GOIÂNIA
2010

PAULO SÉRGIO DE OLIVEIRA RESENDE

EFEITO DO AR INCORPORADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Goiás para obtenção do grau de Mestre.

Área de concentração: Construção Civil

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Materiais e Componentes Construtivos.

Orientadora: Profª. Dra. Helena Carasek

D0034C10
GOIÂNIA
2010

As mulheres da minha vida:
Minha esposa: Lílian, minhas filhas:
Laura e Luiza, suas avós Norma e Izôlda,
Com amor e respeito.

AGRADECIMENTOS

À Profª. Drª. Helena Carasek, pela sua orientação competente e por ter confiado em mim desde a seleção para o mestrado, meus agradecimentos pela confiança e pela oportunidade.

À Universidade Federal de Goiás – UFG em especial a todos os professores colegas e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Mecânica das Estruturas e Construção Civil (GECON).

Aos professores Dario de Araújo Dafico e Edison de Almeida Manso pela carta de recomendação ao mestrado.

À Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás na figura do Diretor do Departamento de Engenharia, prof. José Alves de Freitas, pelo incentivo e pelos ensaios realizados no Laboratório de Materiais de Construção.

Aos técnicos do Laboratório de Materiais de Construção da PUC Goiás Tecnólogo Thiago Monteiro dos Santos e o engenheiro Divino Gabriel Lima Pinheiro, pelo apoio para a realização experimental desta pesquisa.

Aos estagiários do Laboratório de Materiais de Construção da PUC Goiás, Túlio Honorato, Leila Paula, Flávio Augustos, Joelma Maria Leal pelo apoio durante o programa experimental.

A Carlos Campos Consultoria Ltda., na figura de seu Diretor, Carlos de Oliveira Campos, pelo apoio logístico e empréstimo de equipamentos. Aos seus funcionários Denílson, Adilson e Luisinho.

A todos os fornecedores que gentilmente me cederam materiais para desenvolvimento desta pesquisa: SIKA, IMPERCIA, Construtora Euro América, Supermix, Bloco Santa Vitória.

Aos colegas da PUC Goiás Janaína das Graças Araújo, Adriano de Melo Almeida, Sérvio Túlio Pessoas de Oliveira, Epaminondas Júnior, Marcelo de Rezende Carvalho, Eduardo Martins Abrão Filho, Homero José Augusto de Oliveira.

Aos meus mestres da área de Construção Civil desde a época da Escola Técnica Federal de Goiás, que me ensinaram a ser um apaixonado pela área de Materiais de Construção.

Aos amigos e familiares que souberam entender a minha ausência durante os estudos.

A minha companheira, Lílian, que sempre me incentivou nas horas mais difíceis. Pela confiança, compreensão e paciência para concretização desse mestrado. Companheira dedicada que mesmo grávida da nossa segunda filha assumiu o papel de pai e mãe da Laura enquanto eu me dedicava a este trabalho, os meus mais sinceros agradecimentos.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e principalmente a Deus minha eterna gratidão.

Paulo Sérgio

"Se vi mais longe foi por estar de pé sobre ombros de gigantes."

"O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano."

Isaac Newton

RESUMO

RESENDE, P.S.O. **Efeito do Ar Incorporado em Argamassas de Revestimentos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

O presente trabalho aborda a ação da incorporação de ar em argamassas de revestimentos, produzidas em laboratório, e seus efeitos em revestimentos aplicados sobre substratos porosos (bloco cerâmico, bloco de concreto, superfície de concreto). Trata-se de um estudo experimental, onde se avalia os efeitos dos aditivos incorporadores de ar em argamassas nos estados fresco, no estado endurecido e como revestimento aplicado sendo que as principais variáveis estudadas foram: tipo de aditivo, teor de ar, tipo de substrato, tipo de cimento e o tipo de acabamento superficial. Avaliou-se a influência da variação do teor de ar nas propriedades mecânicas das argamassas e revestimentos e verificou-se a variação do tipo de acabamento superficial influencia na resistência de aderência à tração e no desgaste do corte. Na avaliação das características físicas e das propriedades mecânicas dessas argamassas obteve-se um valor para o teor ótimo de ar incorporado. O estudo que teve como condições fixas o tipo de substrato padrão e a forma de aplicação, variando o teor de ar incorporado. Como resultado constatou-se que há um teor ótimo para incorporação de ar, acima do qual as propriedades no estado fresco e endurecido começam a ser prejudicadas, devendo-se evitar tais teores. Foi possível ainda verificar um melhor desempenho das argamassas com ar incorporado com relação à permeabilidade à água quando comparadas com as argamassas sem aditivo incorporador de ar.

Palavras-chave: Aditivo; Incorporador de Ar; Argamassa; Propriedades; Revestimento.

ABSTRACT

The present study contemplates in a scientific way the action of air entraining agents in mortars produced in laboratory and the effects on the coatings applied on porous substrates (ceramic blocks, concrete blocks). This is an experimental work, aiming to test the effect of the air entraining agents in fresh mortars, hardened state and the remaining air in coating applied. The variables were: air content, type of substrate and surface finishing. Adopting a methodology for varying levels of entraining air, keeping fixed the substrate, the form of application and the type of surface finishing, evaluating the properties of mortars in order to obtain the ideal air content of dosage. Other studies were done after evaluation of optimal air content, keeping it as a fixed condition and varying the type of substrate, application type and the type of surface finishing, in order to analyze their interference in the amount of remaining air, as well as such interference coating applied.

Keywords: admixture; air entraining; air entraining agent; mortar; properties; coat.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Molécula de tensoativo (Adaptado de MARTIN, 2005) 22
Figura 2.2 - Bolha de ar envolta por tensoativo (Adaptado de MARTIN, 2005)..... 22
Figura 2.3 - Mecanismo de incorporação de ar quando um surfactante aniônico com uma cadeia hidrocarbônica apolar é adicionado à pasta de cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008). 23
Figura 2.4 - Ácido abiático (Adaptado de MARTIN, 2005) 24
Figura 2.5 - Ação do aditivo incorporador de ar, com grupos polares hidrófilos e apolares acrófilos (Adaptado de BAUER, 2000). 25
Figura 2.6 - Ação do tensoativo sobre as bolhas de ar (Adaptado de BAUER, 2000)..... 25
Figura 2.7 - Ação do tensoativo sobre as partículas de cimento ou de agregado muito fino (ARAÚJO, 2005, adaptado de BAUER, 2000)..... 26
Figura 2.8 - 1) Argamassa de cimento e areia; 2) Argamassa de cal e areia; 3) Argamassa de cimento, areia e IAR. 29
Figura 2.9 - Grãos de areia e micro bolha de ar incorporado (adaptado de BAUER, 2000)..... 29
Figura 2.10 - Molhagem de um sólido por um líquido (ALHANATI, 2010). 31
Figura 2.11 - Aumento da molhabilidade de um sólido por um líquido com a diminuição do ângulo de contato (ALHANATI, 2010)..... 31
Figura 2.12 - Ascensão da água em um tubo capilar (ALHANATI, 2010). 33
Figura 2.13 - Microbolhas de ar incorporado cortando os capilares (adaptado de BAUER, 2000)..... 34
Figura 2.14 - Bolha de ar aliviando as tensões capilares no descongelamento (adaptado de BAUER, 2000)..... 34
Figura 2. 15 - Pressões de contato em uma amostra de areia (adaptado de SOARES; PINHEIRO; TAVARES, 2003). 35
Figura 2.16 - Micro bolha de ar obturando a passagem de água pelo capilar (adaptado de BAUER, 2000)..... 35

Figura 3.1 – Fluxograma referente à avaliação das areias que atendem ao mercado de Goiânia. 38
Figura 3.2 – Fluxograma referente ao estudo da variação do tipo e marca do IAR. 38
Figura 3.3 – Fluxograma referente à variação do tipo de Cimento Portland. 39
Figura 3.4 – Fluxograma referente à variação do tipo de substrato. 39
Figura 3.5 - Fluxograma referente à variação o teor de ar incorporado. 40
Figura 3.6 - Fluxograma referente ao tipo de acabamento superficial. 40
Figura 3.7- Distribuição granulométrica da areia natural, conforme ABNT NBR NM 248..... 45
Figura 3.8 – Bloco de concreto da marca Santa Vitória, 7 cm x 19 cm x 39 cm. 47

Figura 3.9 - Ilustração do bloco cerâmico para alvenaria estrutural, 12 cm x 12 cm x 25 cm. 47
Figura 3.10 - Face lisa do substrato padrão, que esteve em contato com a forma, de 25 cm x 50 cm x 2 cm. 48
Figura 3.11 – Mesa de *flow*, conforme ABNT NBR 7215 1996. 50
Figura 3.12 – Colocação da argamassa no molde. 51
Figura 3.13 – Adensamento da argamassa no substrato na mesa de *flow*. 51
Figura 3.14 – Sarrafeamento com régua metálica. 51
Figura 3.15 – Desempeno com desempenadeira de madeira, realizado em parte dos revestimentos do estudo 6. 52
Figura 3.16 – Adensamento de corpos-de-prova para ensaio de flexão. 52
Figura 3.17 – Gabarito para locação dos furos no revestimento conforme a norma (ABNT:NBR 13528 2010). 53

Figura 4.1 - Perda de água para substratos porosos A IV S. 66
Figura 4.2 - Perda de água para substratos porosos variáveis A IV 10. 66
Figura 4.3 – Absorção de água pelo método do cachimbo. 67
Figura 4.4 – Absorção de água por capilaridade, por imersão e fervura. 68
Figura 4.5- Correlação entre o índice de consistência e a penetração do cone. 70
Figura 4.6 – Correlação entre o teor de ar e a densidade no estado fresco. 70
Figura 4.7 – Resultados de resistência à compressão em cp's cilíndricos 50x100 mm 71
Figura 4.8 – Resultado de resistência à compressão em cp's prismático 40x40x160 mm. 71
Figura 4.9 – Módulo de elasticidade estático à compressão. 72
Figura 4.10 – Resistência à tração por compressão diametral em cp's 50x100mm. 72
Figura 4.11 – Resistência à tração na flexão em cp's prismáticos 40x40x160 mm. 73
Figura 4.12 – Correlação entre o módulo de elasticidade e resistência à compressão simples. 73
Figura 4.13 – Correlação entre módulo de elasticidade e resistência à compressão em cp's prismáticos 40x40x160mm. 74
Figura 4.14 – Correlação entre o módulo de elasticidade estático e a resistência a tração por compressão diametral. 74
Figura 4.15 – Correlação entre resistência a tração na flexão e o módulo de elasticidade estático. 75
Figura 4.16 – Correlação à resistência à tração por compressão diametral *versus* resistência á tração na flexão. 75
Figura 4.17 – Correlação entre a tração por compressão diametral e a resistência a compressão. 76
Figura 4.18 – Correlação entre a resistência a tração na flexão e a compressão. 76
Figura 4.19 – Desgaste ao corte com a serra-copo (%). 77
Figura 4.20 - Resistência de aderência no acabamento sarrafeado em substrato de concreto. 78
Figura 4.21- Resistência de aderência no acabamento desempenado em substrato de concreto. 78

Figura 4.22 - Comparativo de custos das argamassas. 79
Figura 4.23 - Perda de água para o substrato na primeira camada (interface). 80
Figura 4.24 - Perda de água para o substrato na segunda camada (intermediária)..... 80
Figura 4.25 - Perda de água para o substrato na terceira camada (superfície). 80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Alterações das propriedades das argamassas para assentamento e revestimento por aditivos incorporador de ar (resumida da RILEM, 1992) por (SELMO; MONTE&UEMOTO, 2003).18

Tabela 2.1 - Requisito de desempenho dos aditivos incorporadores de ar, conforme ABNT: NBR 117681992:..... 26

Tabela 3.1 - Descrição dos tipos de argamassas do Programa Experimental. 41
Tabela 3.2 - Propriedades químicas dos cimentos*. 43
Tabela 3.3 - Propriedades físicas e mecânicas do cimento CP II F-32* 43
Tabela 3.4 - Propriedades físicas e mecânicas do cimento CP IV-32 RS*. 43
Tabela 3.5 Tabela de caracterização e análise de cal hidratada – CHI SUPERCAL* 44
Tabela 3.6 - Areia natural, de composição granulométrica de agregado miúdo - NBR NM 248, com procedência do rio Claro, município de Israelândia (GO). 45
Tabela 3.7 - Resultados de caracterização das areias utilizadas no estudo 1 45
Tabela 3.8 - Caracterização dos aditivos incorporador de ar utilizados no estudo 2. 46
Tabela 3.9 - Caracterização do substrato bloco de concreto 46
Tabela 3.10 - Resultados médios de absorção capilar e de resistência de aderência à tração superficial de amostras das placas de substrato padrão..... 47
Tabela 3.11 - Processo de mistura da argamassa mista 1:1:6 cimento:cal:areia 49
Tabela 3.12 - Processo de mistura da argamassa 1:6 cimento:areia..... 49
Tabela 3.13 – Tabela de proporcionamento das argamassas..... 50
Tabela 3.14 – Avaliação das argamassas no estado fresco 54
Tabela 3.15 – Avaliação das argamassas no estado endurecido 57
Tabela 3.16 – Avaliação das propriedades do revestimento aplicado..... 61

Tabela 4.1 – Resultados de caracterização das areias. 63
Tabela 4.2- Resultados no estado fresco variando a marca do aditivo incorporador de ar. 64
Tabela 4.3 - Resultados no estado fresco variando o tipo de cimento. 65
Tabela 4.4 - Resultados no estado endurecido variando o tipo de cimento. 65
Tabela 4.5 – Resultados no estado fresco variando teor de ar..... 68
Tabela 4.6 – Comparativo de custo das argamassas. 79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

µm: micrômetro

a/c: relação água/cimento

ABCP: Associação Brasileira dos Fabricantes do Cimento Portland

AA: Ar aprisionado

AI: Ar incorporado

BT: Boletim Técnico

CC: Coeficiente de Curvatura

cp: corpo-de-prova

CU: Coeficiente de Uniformidade

DCM: Dimensão Máxima Característica

def: Diâmetro Efetivo

EB: Especificação Brasileira

ɣ: Massa específica

IAR: Aditivo Incorporador de Ar

IV: Índice de vazios

kg: quilograma

MB: Método Brasileiro

MF: Módulo de Finura

mm: milímetro

ppm: Partes Por Milhão

SO: Coeficiente de Segregação

SPA: Aditivo Superplastificante-Acelerador

spc: sobre o peso do cimento

SPR: Aditivo Superplastificante-Retardador

δ: Massa unitária

LISTA DE ENTIDADES

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM: *American Society Testing and Materials*

IPT: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

PUC Goiás: Pontifícia Universidade Católica de Goiás

SANEAGO: Saneamento de Goiás S/A.

UFG: Universidade Federal de Goiás

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS 5
RESUMO 7
ABSTRACT 8
LISTA DE FIGURAS 9
LISTA DE TABELAS 12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS 13
LISTA DE ENTIDADES 14
SUMÁRIO 15
INTRODUÇÃO 17
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA 17
1.2. OBJETIVOS 19
1.2.1. Objetivo Geral 19
1.2.2. Objetivos Específicos 19
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 19
REVISÃO DA LITERATURA 20
2.1. ADITIVOS 20
2.2. ADITIVOS INCORPORADORES DE AR 21
2.2.1. Ação Química dos Aditivos Incorporadores de Ar 21
2.2.2. Principais Bases Químicas dos Incorporadores de Ar 23
2.2.3. Mecanismo de Ação das Bolhas de Ar nas Argamassas 24
2.2.4. Fatores que influenciam na ação do incorporador de ar 26
2.3. ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO 27
2.3.1. Trabalhabilidade e Reologia 27
2.3.2. Densidade de Massa 30
2.3.3. Retenção de Água 30
2.3.4. Adesão Inicial 30
2.3.5. Retração Plástica 32
2.4. ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO 32
2.4.1. Retração hidráulica 32
2.4.2. Fenômenos capilares 33
2.5. VANTAGENS DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA CONTENDO ADITIVO INCORPORADOR DE AR 35

PROGRAMA EXPERIMENTAL 37
3.1. ESTUDOS REALIZADOS 37
3.2. CONDIÇÕES FIXAS 41
3.2.1. Consistência de aplicação da argamassa (relação água/ materiais secos) 41
3.2.2. Processo de aplicação das argamassas nos substratos 41
3.2.3. Espessura dos revestimentos 42
3.2.4. Cura dos revestimentos 42
3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS 42
3.3.1. Cimento 43
3.3.2. Cal Hidratada 44
3.3.3. Areia fina natural quartzosa 44
3.3.4. Aditivo Incorporador de Ar 46
3.3.5. Água 46
3.3.6. Substrato 46
3.4. MÉTODOS 48
3.4.1. Preparo do Substrato 48
3.4.2. Preparo das Argamassas 48
3.4.3. Aplicação das argamassas de revestimento na mesa de *flow table* 50
3.4.4. Definição dos pontos a serem ensaiados 53
3.5. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO 53
3.6. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO 57
3.7. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS 60
RESULTADOS E DISCUSSÃO 63
CONSIDERAÇÕES FINAIS 81
5.1. CONCLUSÕES 81
5.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE ENSAIO 82
5.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS APLICAÇÕES PRÁTICAS 83
5.4 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS 84
BIBLIOGRAFIA 85
Apêndice 1 – Resultados Experimentais 1
Anexo 1 – Caracterização dos materiais (fornecidos pelos fabricantes) 1

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O emprego de aditivos na construção civil data de alguns milênios. Romanos e egípcios empregavam albumina, alcatrões e até sangue de animais para obtenção de efeito plastificante e incorporador de ar visando melhoria das características dos materiais de construção da época (COLLEPARDI, 1980).

Segundo Martin (2005), também era utilizada pelos romanos, como aditivo incorporador de ar, clara de ovo em concreto feito a base de cal e pozolana, bem como pelos chineses quando da construção das muralhas da China. A evolução da utilização de aditivos na elaboração de argamassas tende a considerar o aditivo como um dos componentes das argamassas.

A descoberta da utilização dos incorporadores de ar, segundo Cunha e Neuman (1979, a*pud* Calhau, 2000) foi casualmente nos Estados Unidos quando, a partir de 1933, foram utilizados os primeiros aditivos incorporadores de ar que conferiam ao concreto e argamassa maior durabilidade à ação destrutiva do gelo/desgelo, devida a presença na massa de minúsculas bolhas de ar que serviam como ponto de descompressão para a água capilar do ciclo gelo/desgelo.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

Revestimentos à base de argamassas são amplamente utilizados em fachadas e paredes internas de edifícios em nosso país. Embora muito empregada, a técnica é carente de definições normativas e estudos técnico-científicos ficando o seu uso, muitas vezes, legado ao empirismo de pessoas sem conhecimento técnico das manifestações patológicas que podem ocorrer com emprego de argamassas mal dosadas.

As argamassas industrializadas contêm aditivos, freqüentemente incorporadores de ar, substituindo parcialmente, ou até totalmente, a cal na função de plastificação. Isso é feito porque argamassas sem cal são mais fáceis de serem armazenadas, possuírem menor custo e

até mesmo pelo ganho de rendimento e facilidade de aplicação que os aditivos conferem a esse material.

Atualmente, os aditivos incorporadores de ar também têm sido utilizados na composição de argamassas preparadas em obras. Algumas razões para este emprego são: agir como plastificante melhorando a trabalhabilidade; diminuir a relação a/c, aumentar a resistência à compressão e à tração; diminuir a exsudação; e reduzir a fissuração.

Sabe-se que os aditivos incorporadores de ar alteram as propriedades das argamassas tanto no estado fresco como no estado endurecido. A Tabela 1.1 apresenta um resumo das principais propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido e os efeitos dos aditivos incorporadores de ar.

Tabela 1.1 - Alterações das propriedades das argamassas para assentamento e revestimento por aditivos incorporador de ar (resumida da RILEM, 1992) por (SELMO; MONTE&UEMOTO, 2003).

	PROPRIEDADES INDICADAS	**EFEITO DO ADITIVO IAR**
Estado Fresco	Índice de consistência	Aumenta para mesmo a/c
	Densidade de massa aparente	Diminui
	Teor de ar	Aumenta
	Retenção de água	Aumenta (reduz a exsudação)
Estado Endurecido	Resistência mecânica	Diminui para o mesmo a/c
	Resistência de aderência	Diminui para o mesmo a/c
	Absorção capilar	Diminui
	Retração por secagem	Igual ou aumenta
	Densidade de massa específica	Diminui
	Módulo de elasticidade	Diminui
	Durabilidade	Aumenta (ciclos de gelo/ desgelo.)

Devido à falta de consenso entre os pesquisadores sobre a influência que os aditivos provocam nas argamassas, mais especificamente o aditivo incorporador de ar, objeto de estudo deste trabalho, aparece a necessidade de aprofundamento dos estudos sobre a influência dos efeitos do ar incorporado em argamassas e principalmente na investigação do teor de ar remanescente após o endurecimento no revestimento.

Na tentativa de contribuir para este entendimento é que se propôs a realização desta pesquisa. Objetiva-se avaliar os aditivos incorporadores de ar em argamassa de revestimento, quanto ao

seu mecanismo de ação, sua influência nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, bem como no revestimento aplicado.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar a ação da incorporação de ar em argamassas de revestimento no estado fresco e endurecido, bem como em revestimento aplicado sobre substratos porosos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar a influência da variação do teor de ar nas propriedades mecânicas das argamassas e revestimentos;
- Verificar se a variação do tipo de acabamento superficial influencia na resistência de aderência à tração e no desgaste do corte.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Justificado o tema e apresentado os objetivos gerais e específicos do trabalho neste capítulo, no Capítulo 2 discute-se os principais aspectos da revisão da literatura, apresentando a definição e os principais fatores da incorporação de ar em argamassas de revestimento.

Capítulo 3 trata do programa experimental, onde são apresentados os materiais e métodos adotados para a realização e avaliação do programa experimental. Prosseguindo, no Capítulo 4 tem-se a apresentação e discussão dos resultados, inicialmente de forma individual e posteriormente promovendo uma discussão geral. Finalmente, no Capítulo 5, são apresentadas as considerações finais juntamente com as conclusões e sugestões para trabalhos futuros sobre o tema.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1. ADITIVOS

A ABNT: NBR 1768 1992 define que aditivos são produtos que, adicionados em pequena quantidade a concretos de cimento Portland, modificam algumas de suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições. A ABNT: NBR 13529 1995, que apresenta a terminologia especifica para revestimentos de argamassa, entende aditivo como um "produto adicionado à argamassa em pequena quantidade, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades, no estado fresco ou endurecido". Por sua vez, a ASTM - *American Society of Testing and Materials* define aditivo como um material, que não água, agregado ou cimento, que é empregado como ingrediente do concreto ou da argamassa, adicionado a estes antes ou durante a mistura (ASTM C 125/ 1992).

A classificação dos aditivos, segundo a ABNT: NBR 11768 1992, é baseada nos seus efeitos, conforme pode ser visto a seguir:

- Aditivo plastificante (Tipo P): produto que aumenta o índice de consistência do concreto ou argamassa, mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 6% da quantidade de água de amassamento para produzir concreto com determinada consistência;

- Aditivo retardador (Tipo R): produto que aumenta os tempos de início e fim de pega do concreto ou argamassa;

- Aditivo acelerador (Tipo A): produto que diminui os tempos de início e fim de pega do concreto ou argamassa, bem como acelera o desenvolvimento das suas resistências iniciais;

- Aditivo plastificante-retardador (Tipo PR): produto que combina os efeitos dos aditivos plastificante e retardador;

- Aditivo plastificante-acelerador (Tipo PA): produto que combina os efeitos dos aditivos plastificante e acelerador;

- Aditivo incorporador de ar (Tipo IAR): produto que incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto ou argamassa;

- Aditivo superplastificante (Tipo SP): produto que aumenta sensivelmente o índice de consistência do concreto ou argamassa, mantida a quantidade de água de amassamento, ou que possibilita a redução de, no mínimo, 12% da quantidade de água de amassamento, para produzir concreto ou argamassa com determinada consistência;

- Aditivo superplastificante-retardador (Tipo SPR): produto que combina os efeitos dos aditivos superplastificante e retardador;

- Aditivo superplastificante-acelerador (Tipo SPA): produto que combina os efeitos dos aditivos superplastificante e acelerador.

2.2. ADITIVOS INCORPORADORES DE AR

Segundo a ABNT NBR 11768 – EB 1763/92), aditivo incorporador de ar é um produto que incorpora pequenas bolhas de ar ao concreto ou argamassa, com objetivo de melhorar a trabalhabilidade e diminuir a relação água:cimento.

2.2.1. Ação Química dos Aditivos Incorporadores de Ar

Os agentes incorporadores de ar pertencem à classe química dos tensoativos e, segundo Ramachandran (1984), são materiais fortemente adsorvidos nas interfaces ar/líquido ou sólido/líquido. Tal substância possui uma porção polar (hidrófila) e outra apolar (hidrófoba), conforme Figura 2.1.

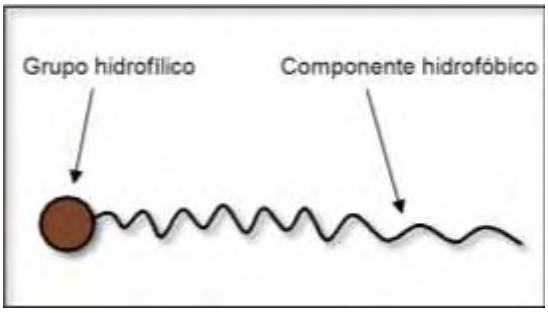


Figura 2.1 - Molécula de tensoativo (Adaptado de MARTIN, 2005)

Frequentemente, descreve-se a região polar como a "cabeça" da molécula do tensoativo e a região apolar, a "cauda". A "cauda" geralmente é formada por uma cadeia de hidrocarboneto, relativamente longa, com, aproximadamente 8 ou 10 carbonos necessários para que o tensoativo tenha uma influência significativa na tensão superficial (ALVES, 2002).

Os tensoativos, segundo Shaw (1975, *apud* ALVES, 2002), podem ser classificados de acordo com a "cabeça" polar em:

- Catiônicos: se a "cabeça" apresentar uma carga positiva quando dispersos em água;
- Aniônicos: se a "cabeça" apresentar uma carga negativa quando dispersos em água;
- Zwittriônicos: se a "cabeça" puder apresentar uma carga negativa ou positiva em função do pH da água;
- Não-iônicos: se a "cabeça" não possuir carga quando dispersos em água.

Martin (2005) afirma que os grupos da substância tensoativa se unem a micro-esfera de ar, ficando os grupos hidrofílicos na extremidade oposta, como pode ser observado na Figura 2.2.

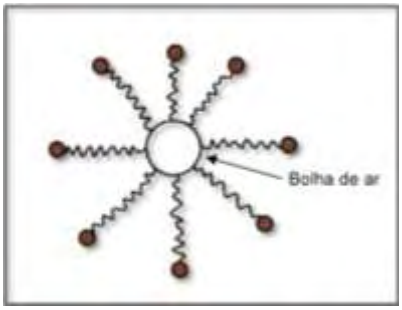


Figura 2.2 - Bolha de ar envolta por tensoativo (Adaptado de MARTIN, 2005).

As bolhas de ar formadas em geral têm um diâmetro inferior a 75 µm, existindo nos concretos endurecidos entre 0,1 e 0,4 bilhões por m^3 para quantidades de ar compreendidas entre 3% e 6%. Quando têm um diâmetro superior a 200 µm, as bolhas se comportam como ar aprisionado (MARTIN, 2005).

Segundo Metha e Monteiro (2008), na interface ar-água os grupos polares estão orientados na direção da fase aquosa, reduzindo a tensão-superficial, promovendo a formação de bolhas e neutralizando a tendência das bolhas dispersas coalescerem. Na interface sólido-água, onde existem forças direcionadoras na superfície do cimento, os grupos polares ligam-se ao sólido mantendo os grupos apolares orientados para a fase aquosa, tornando a superfície do cimento hidrofóbica e assim o ar pode deslocar a água e permanecer ligado às partículas sólidas em forma de bolhas, conforme ilustra a Figura 2.3:

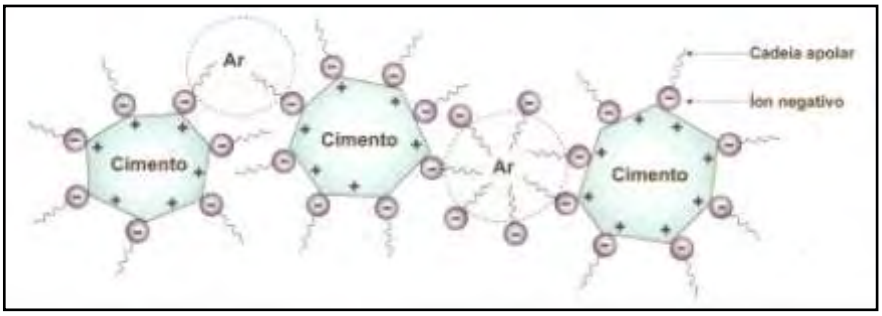


Figura 2.3 - Mecanismo de incorporação de ar quando um surfactante aniônico com uma cadeia hidrocarbônica apolar é adicionado à pasta de cimento (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

2.2.2. Principais Bases Químicas dos Incorporadores de Ar

As primeiras matérias primas utilizadas como incorporadores de ar foram, segundo Martin (2005), as resinas orgânicas. Essas matérias-primas naturais classificam-se, dependendo dos métodos de produção e da fonte, em resinas de bálsamo (da casca da árvore), resina de raízes e resinas do tronco, provenientes da produção de celulose, contendo uma mistura de diferentes ácidos orgânicos insaturados, como ácido abiático (Figura 2.4), ésteres e ácidos carboxílicos e alcoóis de cadeias longas (Fórmula 2.1). As resinas puras são insolúveis em água e, conseqüentemente, precisam ser convertidas previamente em sais solúveis em água (saponificação), para poderem ser utilizados como aditivos.

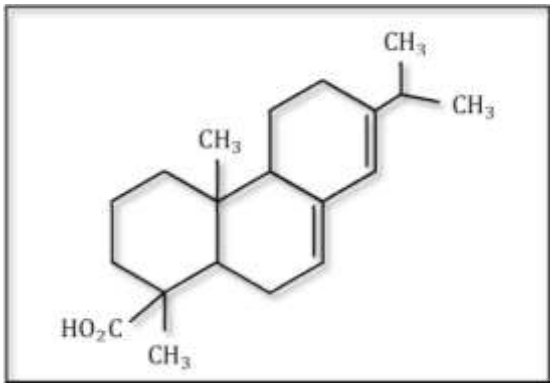


Figura 2.4 - Ácido abiático (Adaptado de MARTIN, 2005)

$$H - [CH_2]_{12-16} - O - SO_3 - Na \quad (2.1)$$

Ainda segundo Martin (2005), substâncias sintéticas adicionadas às naturais também podem ser utilizadas como incorporador de ar. Os alquil sulfonatos (Fórmula 2.2) e o éter de alquil poliglicol (Fórmula 2.3) são compatíveis com a maioria das outras matérias-primas e formam micro-bolhas estáveis em água.

$$R^1 - SO_3Na \quad (2.2)$$

$$R^1[OCH_2^-CH_2]\text{---}_nOCH_3 \quad (2.3)$$

2.2.3. Mecanismo de Ação das Bolhas de Ar nas Argamassas

De acordo com Bauer (2000), o incorporador de ar é um tensoativo que age diminuindo a tensão superficial da água; devido à sua menor densidade, a bolha de ar tenderá a subir e, ao chegar à superfície, estabilizar-se-á sem se romper (Figuras 2.5 e 2.6). Os aditivos incorporadores de ar pertencem ao grupo dos "difilos", com grupos polares hidrófilos (acrófobos), que tem afinidade para se ligar com água e apolares hidrófobos (acrófilos), que tem aversão à ligação com a molécula de água.

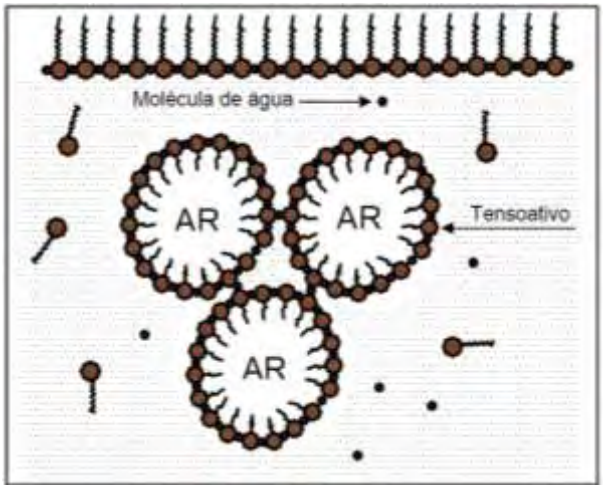


Figura 2.5 - Ação do aditivo incorporador de ar, com grupos polares hidrófilos e apolares acrófilos (Adaptado de BAUER, 2000).

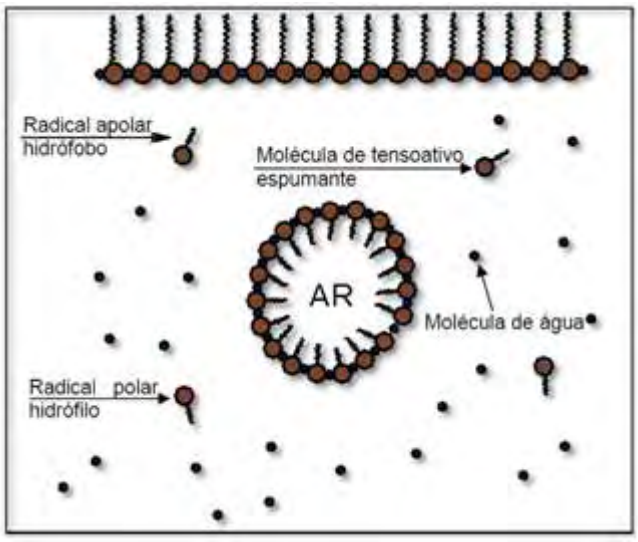


Figura 2.6 - Ação do tensoativo sobre as bolhas de ar (Adaptado de BAUER, 2000).

A ação do aditivo sobre as partículas de cimento ou de agregado muito fino, se dá através de uma camada monomolecular com seu radical polar (acrófobo) ou camadas multimoleculares de ordem par. Esse posicionamento das moléculas ocorre segundo a Figura 2.7.

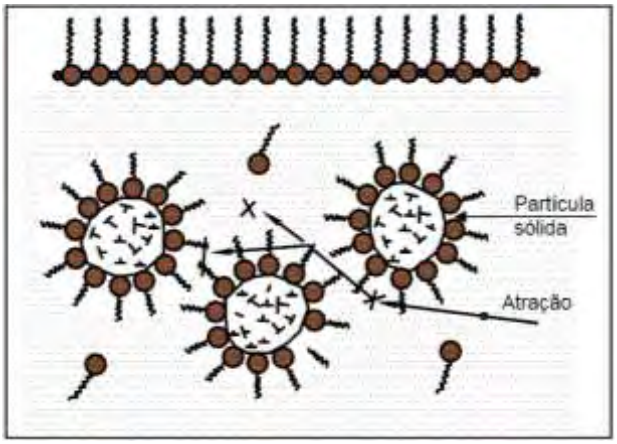


Figura 2.7 - Ação do tensoativo sobre as partículas de cimento ou de agregado muito fino (ARAÚJO, 2005, adaptado de BAUER, 2000).

Os requisitos de desempenho para aditivos incorporadores de ar, conforme a ABNT: NBR 11768 1992, são mostrados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Requisito de desempenho dos aditivos incorporadores de ar, conforme ABNT: NBR 117681992:

Propriedades			Aditivo IAR
Redução de água (% mínima)			**-**
Tempo de pega (h:min) (MB-2665)	Início	No mínimo	**-**
		Não mais que	**+1:15** **- 1:30**
	Fim	No mínimo	**-**
		Não mais que	**-1:15** **+ 1:30**
Exsudação de água (%) (ASTM C 232)		No Máximo	**2,0**
(%) Mínima	Resistência à compressão (% mínima) (MB-3)	12 h	**-**
		3 dias	**90**
		7 dias	**90**
		28 dias	**90**
		90 dias	**90**
		180 dias (opcional)	**-**
	Resistência à tração por compressão diametral (MB-212) ou tração por flexão (MB-3483)	3 dias	**90**
		7 dias	**90**
		28 dias	**90**
Mudança de comprimento MB-1401		- 0,030% (máximo)	120
		< 0,030% (máximo)	0,006

2.2.4. Fatores que influenciam na ação do incorporador de ar

De uma forma geral, segundo Bauer (2000), os principais fatores que influenciam na incorporação de ar no concreto são:

- O cimento influi no teor de ar incorporado de acordo com sua natureza, finura e dosagem, assim, precisa-se de maior quantidade de aditivo para obter o mesmo teor de ar incorporado quando o cimento contiver menos sulfatos e álcalis solúveis ou for mais fino;
- A relação água/cimento tem influência não somente sobre o teor de ar, mas também sobre a ação das bolhas;
- Influência de outros aditivos. O acréscimo de outro aditivo pode modificar o teor de ar incorporado;
- A temperatura é outro fator que tem influência sobre a quantidade de ar incorporado. O aumento da temperatura faz diminuir a quantidade de ar incorporado;
- Influência do agregado. A quantidade e a forma das areias têm influência sobre a quantidade de ar incorporado. Os grãos entre 0,2 mm e 0,8 mm são os que incorporam maior quantidade de ar;
- A influência da mistura. O modo, a energia, o tempo de mistura, o tipo de betoneira e o volume de material preparado exercem influência direta sobre o teor de ar incorporado;
- O tipo de lançamento, a energia de compactação e o tempo de vibração também influenciam no teor final de ar incorporado remanescente na argamassa.

2.3. ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

2.3.1. Trabalhabilidade e Reologia

Trabalhabilidade é, segundo Carasek (2007), uma propriedade complexa das argamassas no estado fresco que determina a facilidade com que elas podem ser misturadas, transportadas, aplicadas, consolidadas e acabadas, em uma condição homogênea. O aditivo incorporador de ar altera diretamente esta propriedade, funcionando como um "lubrificante" dos grãos do agregado miúdo, melhorando a trabalhabilidade.

Reologia (*rheos* = fluir, *logos* = estudo) é a ciência que estuda o fluxo e a deformação da matéria, avaliando as relações entre tensão de cisalhamento aplicada, e a deformação em determinado período de tempo (JOHN; CARDOSO & PILEGGI, 2005).

Entre os materiais de estudo da reologia existem os sólidos elásticos e os líquidos perfeitos. Os sólidos elásticos são aqueles que se deformam proporcionalmente seguindo a lei de Hooke. Por sua vez, os líquidos perfeitos, também chamados de fluídos newtonianos, apresentam uma deformação por cisalhamento total que é proporcional à força e ao tempo durante o qual a força atuará.

Entre as duas classes de materiais ideais existe uma gama de substâncias com propriedades intermediárias, dentre elas as argamassas, objeto de estudo deste trabalho (SOBRAL, 1990).

2.3.1.1. Consistência

É a propriedade pela qual a argamassa tende a resistir às deformações que lhe são impostas (RILEM, 1982), sendo classificada com argamassa seca, plástica ou fluida. O aditivo incorporador de ar melhora muito a plasticidade e a fluidez das argamassas, mantendo-se a coesão para uma mesma relação a/c.

A Figura 2.8 apresenta a variação dos resultados de consistência na mesa de *flow* e penetração do cone para uma argamassa de cimento e areia (1), uma argamassa cimento, cal e areia (2) e uma argamassa com aditivo incorporador de ar (3), onde é visível a lubrificação das partículas reduzindo significativamente o atrito entre os grãos de agregado devido a presença das bolhas de ar incorporado, aumentando a penetração do cone. Observa-se um pequeno espalhamento na mesa de consistência e um aumento considerável na penetração do cone.

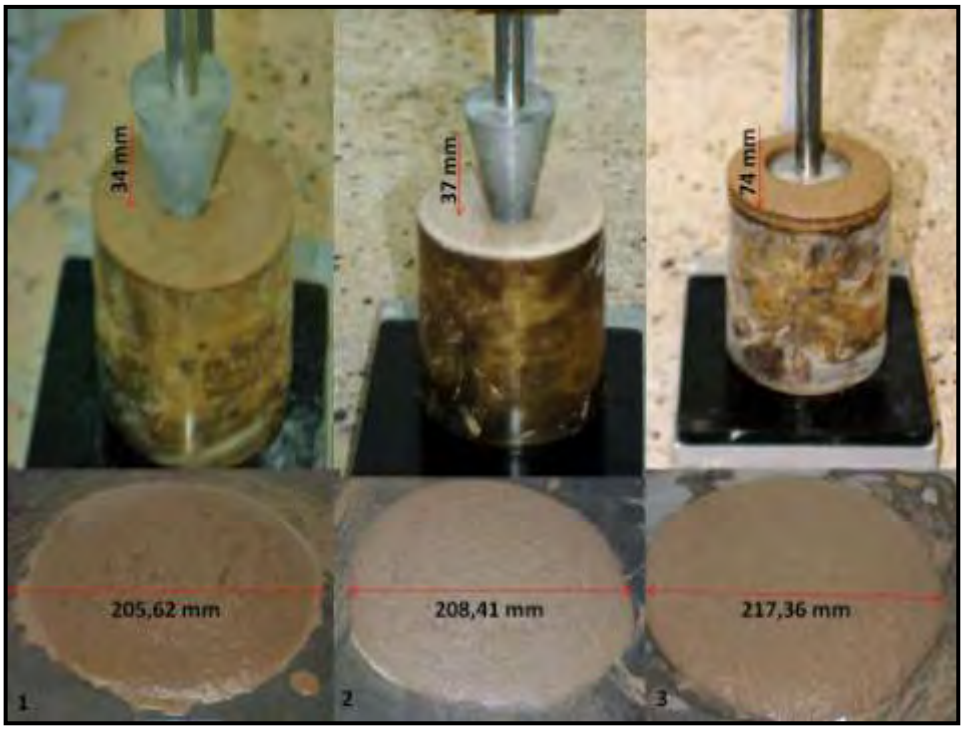


Figura 2.8 - 1) Argamassa de cimento e areia; **2)** Argamassa de cal e areia; **3)** Argamassa de cimento, areia e IAR.

2.3.1.2. Plasticidade

Propriedade que permite à argamassa deformar-se sem ruptura, quando submetida à ação de força superiores às que promovem sua estabilidade, mantendo a deformação após a retirada do esforço (RILEM, 1982).

A partícula de ar (microbolha) funciona como um rolamento (compressível), lubrificando as partículas e facilitando a mobilidade movimentação das partículas umas sobre as outras. Segundo Alves (2002), cria-se um material com aspecto de *musse* ao se referir a argamassa com aditivo IAR.

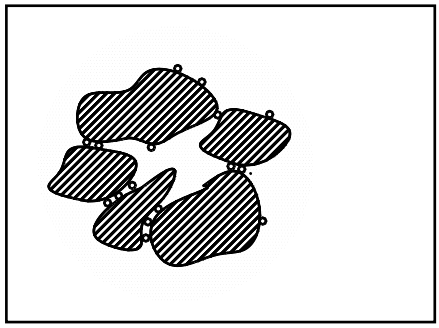


Figura 2.9 - Grãos de areia e micro bolha de ar incorporado (adaptado de BAUER, 2000).

2.3.2. Densidade de Massa

É a razão entre a massa de argamassa no estado fresco dentro de um recipiente e o volume do mesmo (ABNT: NBR 12278 1995). Segundo Cincotto, Silva e Carasek (1995), este valor representa a massa unitária, ou seja, a relação entre a massa de material sólido e o volume total, incluindo os vazios permeáveis e impermeáveis. Carasek (2007) afirma que a densidade de massa das argamassas, também denominado de massa específica, varia com teor de ar (principalmente quando incorporado por meio de aditivos) e com a massa específica dos materiais constituintes da argamassa, prioritariamente do agregado.

2.3.3. Retenção de Água

É a capacidade da argamassa fresca em manter sua consistência, ou trabalhabilidade, quando sujeita a solicitações que provocam perda de água (evaporação, sucção, absorção pelo método componente) (CINCOTTO, SILVA, CARASEK, 1995). A ABNT: NBR 7175 1992 e a ABNT: NBR 13281 1995 prescrevem que a retenção de água seja no mínimo igual a 70% e 80% para a argamassa de cal hidratada e para as argamassas industrializadas, respectivamente.

De forma geral, para se aumentar a capacidade de retenção de água das argamassas, pode-se: aumentar o teor de cal, utilizar aditivos retentores de água e/ou utilizar aditivos que obstruam a percolação de água capilar, como os incorporadores de ar (ALVES, 2002).

2.3.4. Adesão Inicial

A adesão inicial ou pegajosidade pode ser entendida como sendo a propriedade que permite que a argamassa se mantenha fixa, momentaneamente, ao substrato, logo após o seu lançamento, ainda no estado fresco plástico, devido à forças de coesão. Uma maneira simples para se aumentar a adesão inicial seria acrescentar material que reduz a tensão superficial. Isso é conseguido aumentando a quantidade de cimento, adicionando cal ou se forem acrescentados aditivos com elevada superfície específica (CARASEK, 1996).

A tensão superficial de uma pasta ou argamassa pode ser modificada pela alteração de sua composição, sendo ela função inversa do teor de cimento. A adição de cal à argamassa de cimento também diminui a sua tensão superficial, contribuindo para molhar de maneira mais

efetiva a superfície dos agregados e do substrato (VALDEHITA ROSELLO, 1976 *apud* CARASEK, 1996). Efeitos semelhantes propiciam os aditivos incorporadores de ar e retentores de água. Uma avaliação experimental realizada por Carasek (1996), no Instituto de Química da UFRGS, confirmou as afirmativas contidas neste parágrafo. Na ocasião foi realizada a medida da tensão superficial da água limpa, da água com aglomerantes e da água contendo alguns aditivos líquidos para argamassa.

Como resultado obteve-se, para temperatura de 22°C, as seguintes tensões superficiais médias: 72,1 dina/cm para água limpa; 66,9; 66,7 e 42,2 dina/cm respectivamente para a água com cal, com cimento e com cal e cimento juntos; e 39,5; 41,3 e 40,0 dina/cm com três tipos diferentes de aditivos.

O aditivo incorporador de ar reduz a tensão superficial, aumentando a molhabilidade das argamassas, conforme Figura 2.9 e Figura 2.10.

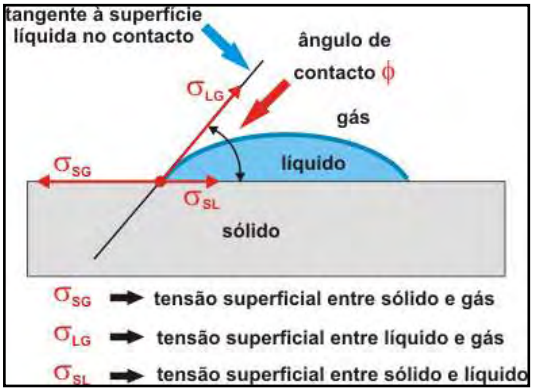


Figura 2.10 - Molhagem de um sólido por um líquido (ALHANATI, 2010).

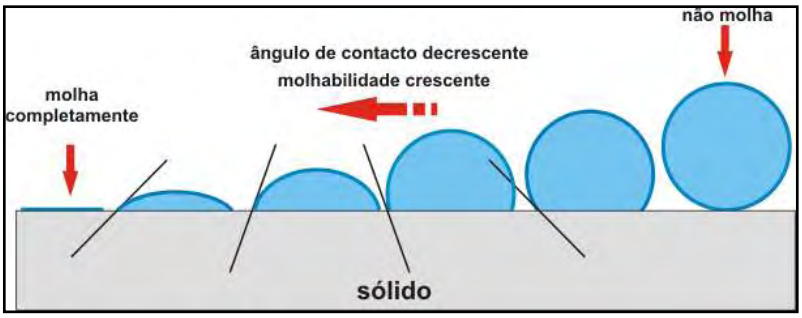


Figura 2.11 - Aumento da molhabilidade de um sólido por um líquido com a diminuição do ângulo de contato (ALHANATI, 2010).

As figuras anteriores mostram que a água contendo cal ou cimento, ou ambos, molha melhor as superfícies dos sólidos de menos afinidade com água. Entretanto o aumento da

molhabilidade aumenta a adesão porque aumenta a superfície de contato de um sólido por um líquido.

2.3.5. Retração Plástica

A retração é iniciada no estado fresco (retração plástica) e prossegue no estado endurecido (retração hidráulica). Existe, agindo sobre a argamassa em todas as direções, uma tensão capilar crescente à medida que a água evapora, causando microfissuras que serão maiores quanto mais rápida for a evaporação.

O aditivo incorporador de ar, além de diminuir as tensões superficiais, obtura os poros capilares, diminuindo a retração plástica e tornando as argamassas menos permeáveis e, consequentemente, menos suscetíveis aos ataques de agentes externos, aumentando sua durabilidade.

2.4. ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

2.4.1. Retração hidráulica

Ocorre devido a remoção da água de amassamento após a pega. Essa evaporação provoca mudanças volumétricas de contração, devido às tensões capilares geradas com a saída da água, podendo também ocasionar o aparecimento de fissuras (ISAIA, 1984).

Sabbatine (1995) explica a contribuição da capacidade de retenção de água no desempenho da argamassa de revestimento estado endurecido, da seguinte forma: se a água presente na argamassa secar muito rapidamente, ocorrerá uma retração do material que provoca a formação de fissuras prejudiciais se for mais lenta, pode ocorrer a formação de micro fissuras não prejudiciais. Esse mesmo autor propõe que as fissuras prejudiciais são aquelas que permitem a percolação da água pelo revestimento no estado endurecido, prejudicando a estanqueidade da água.

A tensão de tração na argamassa oriunda da retração é função direta do seu módulo de elasticidade, de sorte que a argamassa muito rica em cimento sofre notável influência da retração, estando mais sujeitas as tensões de tração que causarão fissuras (CARASEK, 2007).

A tensão de tração na argamassa oriunda da retração é função das forças de coesão existentes na pasta e do teor (volume) de pasta. Essas forças de coesão, por sua vez, dependem de vários fatores, dentre eles, a proximidade dos grãos de cimento, cal e outros de elevada superfície específica presentes na pasta, as cargas elétricas nas superfícies dos sólidos, a presença de aditivos, ar, formação de meniscos entre grãos de agregados, etc.

O aditivo incorporador de ar diminui substancialmente a retração hidráulica, reduzindo a fissuração das argamassas. Melhora quanto a permeabilidade e baixa o módulo de elasticidade, melhorando a absorção de deformações.

2.4.2. Fenômenos capilares

Capilaridade é um processo de movimentação de água contrária à ação gravitacional (ascensão capilar), conforme ilustrado na Figura 2.11.

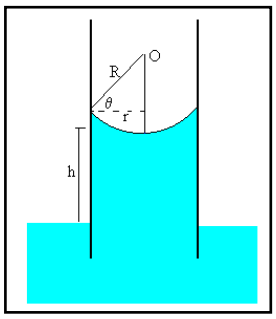


Figura 2.12 - Ascensão da água em um tubo capilar (ALHANATI, 2010).

Se um tubo capilar for introduzido em um líquido que o molha, observar-se-á a ascensão do líquido no tubo, uma vez que a força de adesão é maior que a de coesão. A superfície livre do líquido no interior do tubo será côncava, com o ângulo θ entre a superfície do líquido e a parede do tubo menor que 90 graus. Os fenômenos capilares são modificados nas argamassas com aditivo incorporador de ar através da formação de canalículos capilares irregulares e desuniformemente distribuídos, conforme mostram as Figuras 2.12 e 2.13. As microbolhas de ar cortam a rede de capilares presentes na argamassa, reduzindo o fluxo capilar, diminuindo a permeabilidade das argamassas à água. As argamassas também se tornam mais eficientes ao congelamento e ao descongelamento, em função do alívio das tensões.

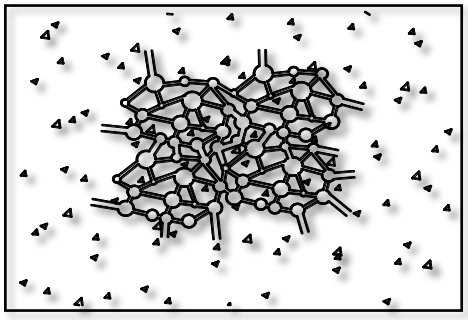


Figura 2.13 - Microbolhas de ar incorporado cortando os capilares (adaptado de BAUER, 2000).

As microbolhas de ar propiciam descontinuidade quando da formação de condutos capilares formados através da microfissuração. Essa contribuição se dá de varias formas. Primeiramente, impede o crescimento da trinca quando esta penetra em uma bolha. Depois, com a diminuição da fissuração, diminui-se a formação dos condutos capilares. Ainda, no caso de ascendencia de água, a altura que a água alcança é menor porque o peso da água dentro do conduto é maior devido as bolhas de ar presente nos capilares.

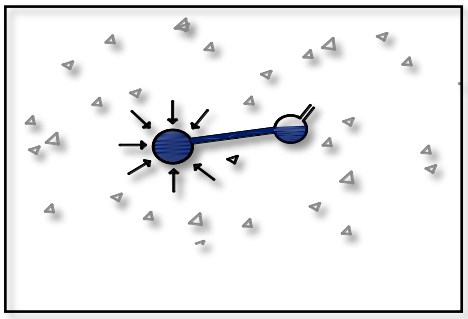


Figura 2.14 - Bolha de ar aliviando as tensões capilares no descongelamento (adaptado de BAUER, 2000).

A Figura 2.14 mostra a formação dos meniscos capilares responsáveis pela atração entre grãos da areia quando o teor de água torna-se baixo em função das perdas para o substrato ou evaporação. A Figura 2.15 mostra a bolha de ar obturando a passagem de água pelos poros capilares.

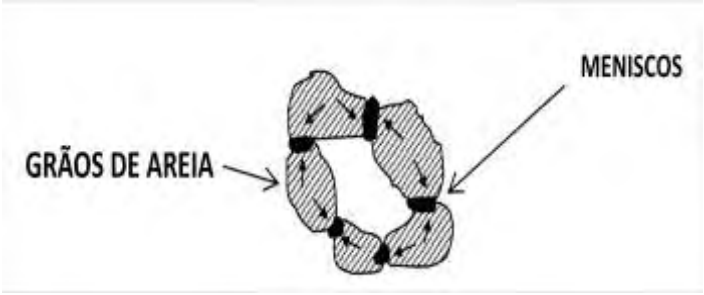


Figura 2. 15 - Pressões de contato em uma amostra de areia (adaptado de SOARES; PINHEIRO; TAVARES, 2003).

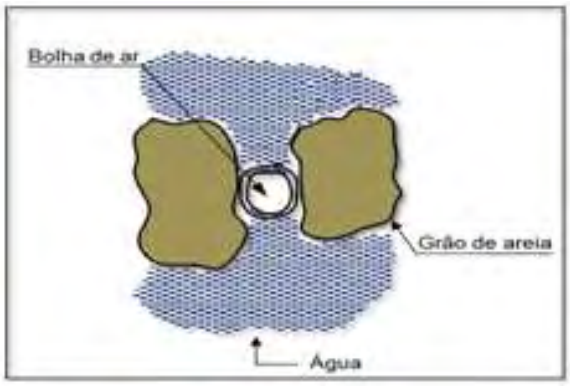


Figura 2.16 - Micro bolha de ar obturando a passagem de água pelo capilar (adaptado de BAUER, 2000).

2.5. VANTAGENS DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA CONTENDO ADITIVO INCORPORADOR DE AR

O consumo de argamassa de revestimento, representado em volume, segundo Sousa (1997) e Lichteus Tein (1987), se situa por volta de 0,13 m^3 de argamassa por m^2 de área construída no caso de edifícios residenciais de múltiplos pavimentos, enquanto que, para o concreto estrutural, estes números são da ordem de 0,22 m^3/m^2. Isso demonstra a importância do estudo dos revestimentos de argamassa, que muitas vezes apresentam valores ainda maiores devido a falta de controle de qualidade de execução.

Pensando nesses índices, qualquer incorporação de ar na argamassa de revestimento causa um impacto na diminuição da quantidade (consumo) do material a ser transportado na obra. As argamassas com ar incorporado apresentam melhor rendimento e maior produtividade por serem mais leves.

Calhau (2000) observou que os revestimentos de argamassas com ar incorporado, em condições normais de temperatura e pressão, são menos permeáveis que os revestimentos somente de cimento e areia, ou os revestimentos com cal em sua composição.

Outra vantagem da utilização de incorporadores de ar é que ao tornar a argamassa mais leve há redução do peso próprio da estrutura e das fundações, o que acarreta redução no custo final da obra, além de ganho ambiental na economia de aplicação de recursos não renováveis.

No estado endurecido a incorporação de ar completa a granulometria das areias utilizadas em argamassas. Areias finas com granulometria uniforme (mal graduada), melhorando o empacotamento dos vazios, reduzindo a área específica dos grãos de areia, reduzindo o consumo de cimento e diminuindo a relação água/cimento. Melhorando até um teor ótimo de incorporação de ar as propriedades mecânicas no estado endurecido, além de controlar o módulo de elasticidade conforme a necessidade.

CAPÍTULO 3

PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental desta dissertação foi elaborado com objetivo de verificar a influência da incorporação de ar nas propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido, bem como no revestimento aplicado.

Assim, foram realizados 6 estudos, sendo os 4 primeiros com objetivo de escolher os materiais e tipos de substrato, e os 2 estudos subseqüentes analisaram a influencia do teor de ar e do tipo de acabamento superficial. O trabalho experimental desta dissertação desenvolveu-se nos Laboratórios de Materiais de Construção, Mecânica dos Solos e Resistência dos Materiais da PUC Goiás.

3.1. ESTUDOS REALIZADOS

Do total de seis estudos, os quatro primeiros foram realizados visando definir os materiais que seriam utilizados no estudo principal, bem como para o entendimento básico da influência do funcionamento dos aditivos incorporadores de ar nas propriedades das argamassas. Desta forma, os estudos 5 e 6 constituem-se nos objetos principais da pesquisa.

O estudo 1 avaliou várias amostras de areia natural quartzosa, procedentes de fornecedores que atendem ao mercado de Goiânia-GO, com a finalidade de definir a areia para preparo das argamassas a serem utilizadas nesta pesquisa, conforme Figura 3.1.

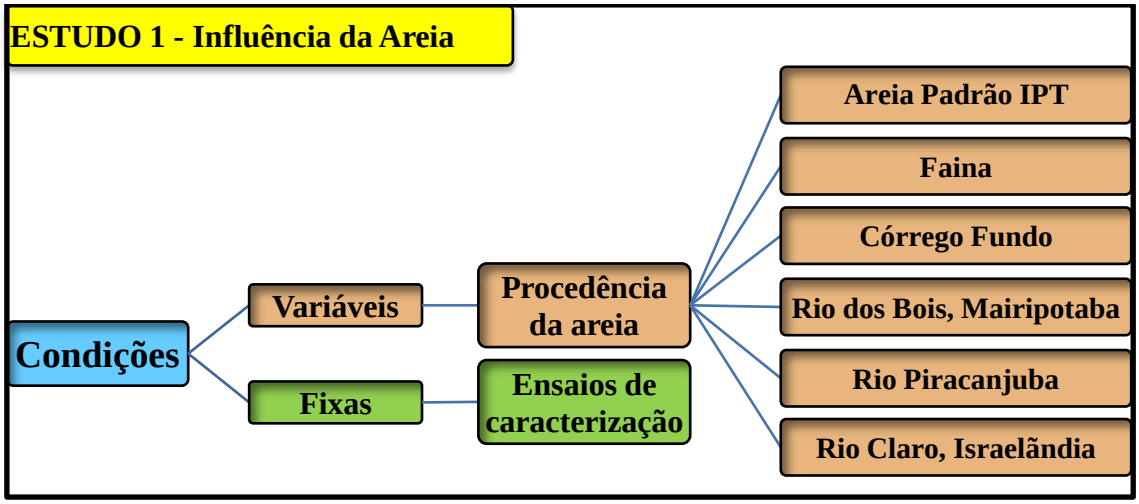


Figura 3.1 – Fluxograma referente à avaliação das areias que atendem ao mercado de Goiânia.

Após a escolha do tipo de areia a ser utilizada no programa experimental, realizou-se um estudo para selecionar o aditivo incorporador de ar (IAR) a ser utilizado. Assim, no estudo 2 utilizou-se uma argamassa de cimento e areia, com proporcionamento 1:6 em volume, com a areia selecionada no estudo anterior, e teores mínimos recomendados pelo fabricante do aditivo em relação à massa de cimento. Foram verificadas as propriedades das argamassas aditivadas no estado fresco comparadas com uma argamassa de referência, 1:1:6, de cimento, cal e areia, conforme Figura 3.2.

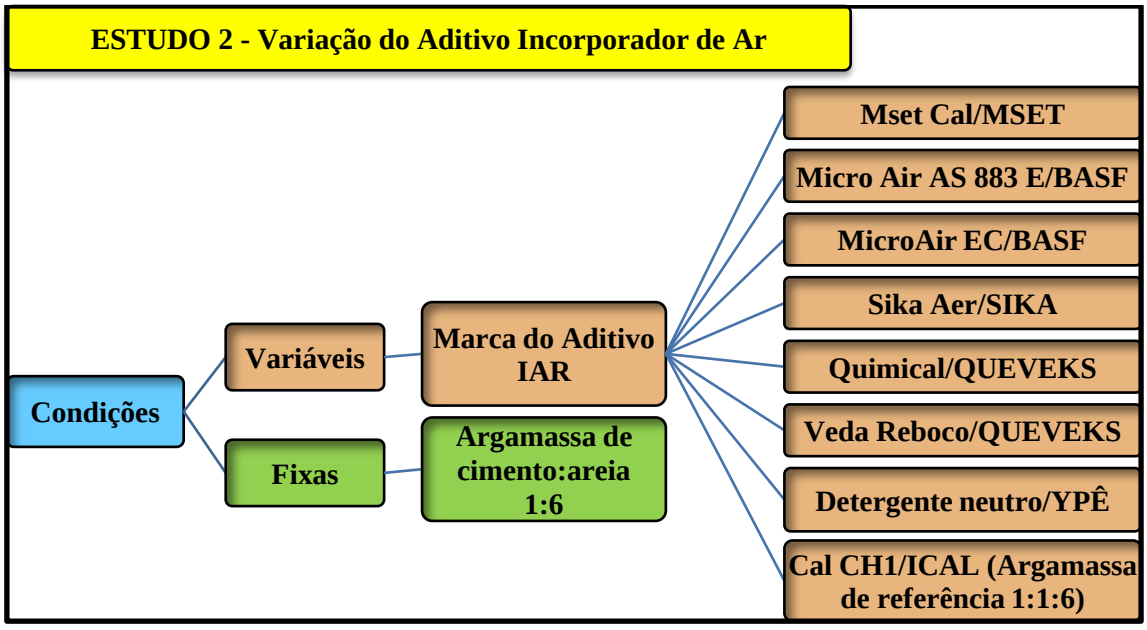


Figura 3.2 – Fluxograma referente ao estudo da variação do tipo e marca do IAR.

Depois de selecionado o aditivo IAR, foi feito um estudo (estudo 3), variando a marca e o tipo do cimento Portland com e sem aditivo, visando analisar a influência do tipo de cimento, conforme a Figura 3.3.

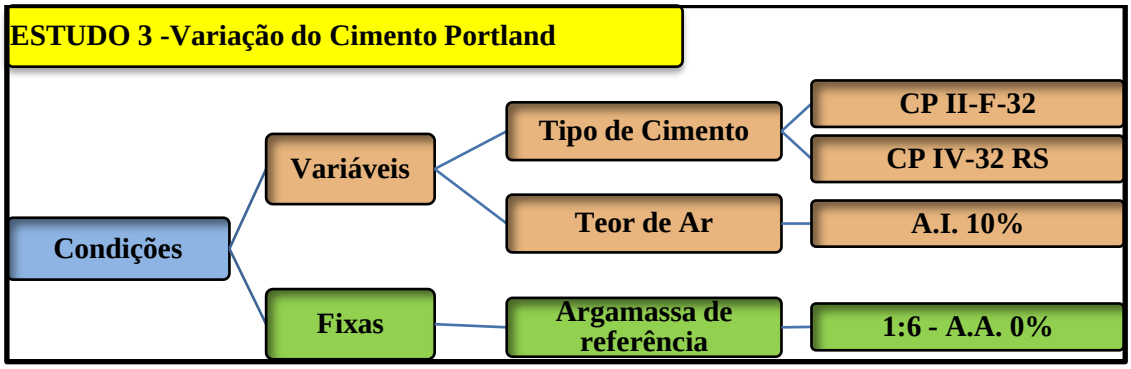


Figura 3.3 – Fluxograma referente à variação do tipo de Cimento Portland.

O estudo 4 utilizou cimento CP-IV 32 RS e argamassa cimento e areia, com proporcionamento em volume 1:6, sem aditivo incorporador de ar e o mesmo traço utilizando aditivo incorporador de ar com teor de ar incorporado de 10%, variando também o tipo de substrato, conforme Figura 3.4.

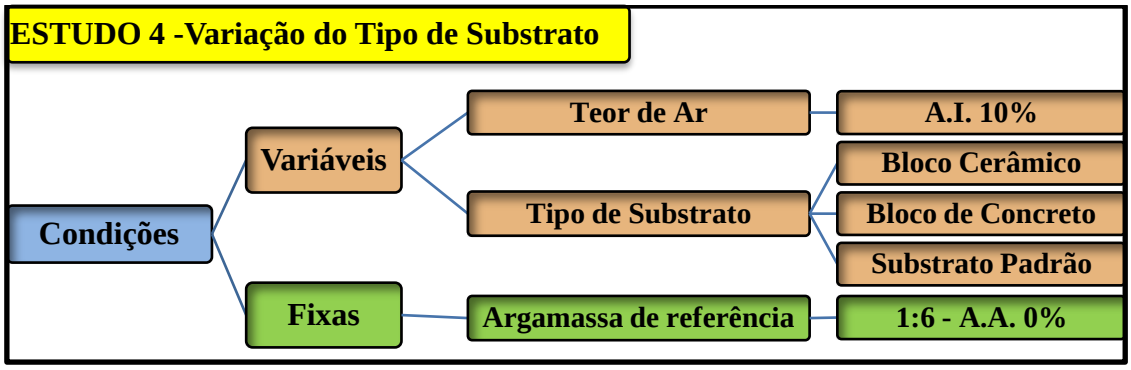


Figura 3.4 – Fluxograma referente à variação do tipo de substrato.

O estudo 5 manteve como condições fixas as argamassas de referência 1:6, argamassa simples e a argamassa mista 1:1:6 em volume e o tipo de substrato de aplicação, variando desta feita os teores de ar incorporado, conforme Figura 3.5.

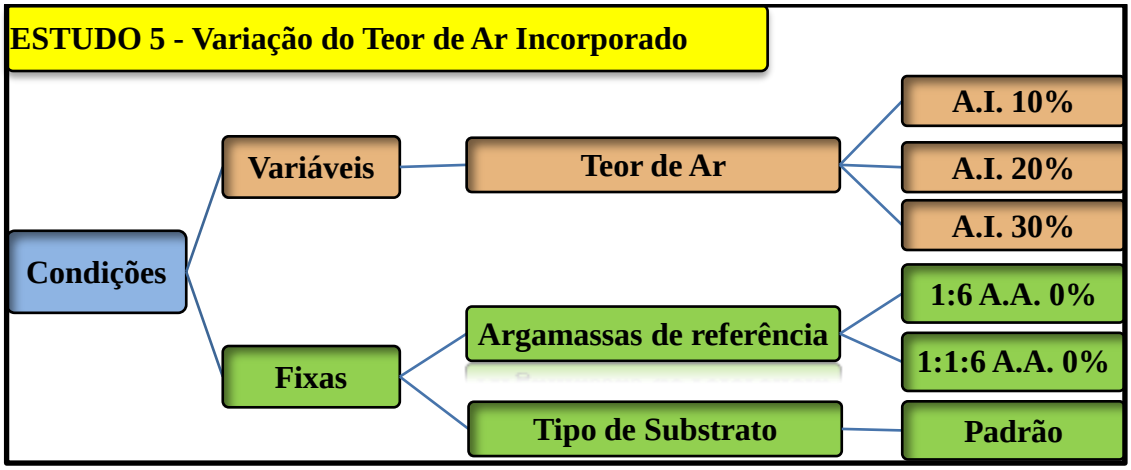


Figura 3.5 - Fluxograma referente à variação o teor de ar incorporado.

No estudo 6 foi avaliado como variável o tipo de acabamento superficial, com diferentes teores de ar de aproximadamente 10%, 20% e 30%, sendo os acabamentos sarrafeado e desempenado para as condições fixas expressas na Figura 3.6.

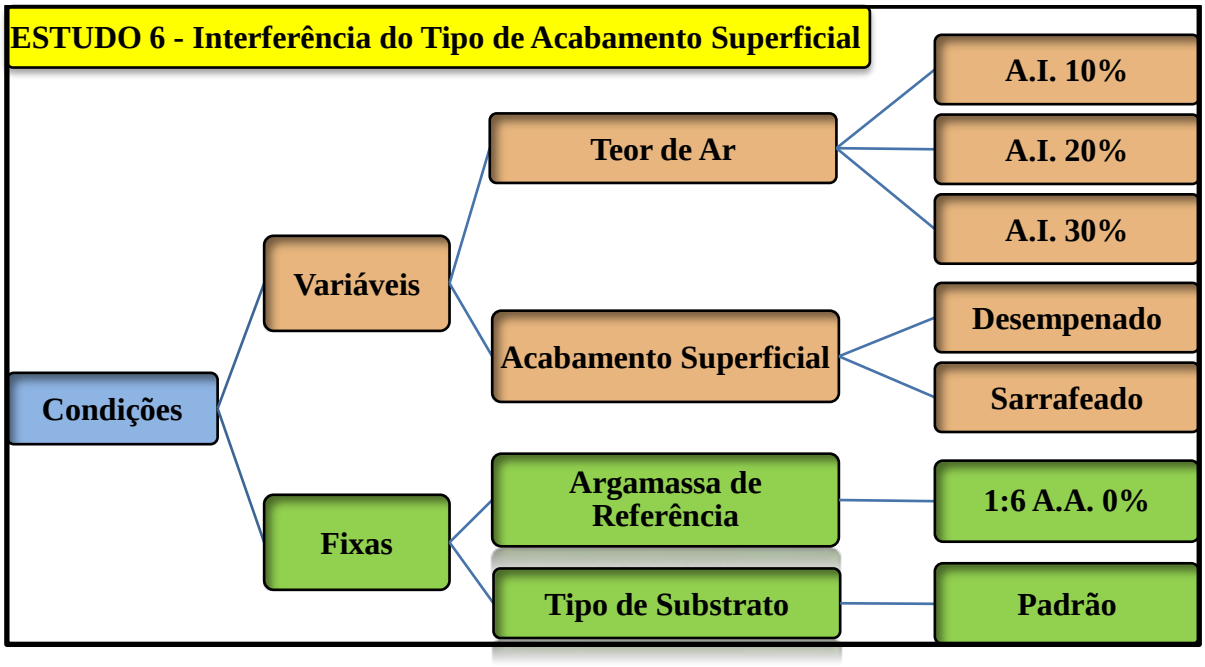


Figura 3.6 - Fluxograma referente ao tipo de acabamento superficial.

Na Tabela 3.1 são apresentados os tipos de argamassas do Programa Experimental, bem como as siglas que serão utilizadas no decorrer do trabalho.

Tabela 3.1 - Descrição dos tipos de argamassas do Programa Experimental.

Sigla	Descrição	Composição				
		Cimento CP II-F-32	Cimento CP IV-32 RS	Cal CH I	Aditivo IAR MICROER	Areia Fina
A II M	Argamassa Mista	●	–	●	–	●
A II S	Argamassa Simples	●	–	–	–	●
A II 10	Argamassa Simples	●	–	–	●	●
A II 20	Argamassa Simples	●	–	–	●	●
A II 30	Argamassa Simples	●	–	–	●	●
A IV S	Argamassa Simples	–	●	–	–	●
A IV 10	Argamassa Simples	–	●	–	●	●

Dando sequência ao objetivo desta dissertação, realizou-se o Programa Experimental fundamentado nos resultados obtidos nos estudos anteriores.

3.2. CONDIÇÕES FIXAS

Visando padronizar os métodos e evitar dificuldades nas análises dos resultados, alguns procedimentos foram adotados para preparação, aplicação e cura dos corpos-de-prova e realização dos ensaios, conforme descrito a seguir.

3.2.1. Consistência de aplicação da argamassa (relação água/ materiais secos)

Na trabalhabilidade das argamassas tentou-se fixar em (200±20)mm pelo espalhamento do tronco do cone em mesa (ABNT: NBR 7215 1991) e a penetração do cone em torno de (35±5)mm, conforme ASTM C 780/1996, objetivando a padronização da consistência das argamassas deste estudo, embora, muitas vezes, este padrão não tenha sido conseguido devido a variabilidade de consistência da argamassa na presença do aditivo incorporador de ar.

3.2.2. Processo de aplicação das argamassas nos substratos

Para minimizar o efeito da variável mão de obra (a qual não é escopo deste trabalho), utilizou-se a mesa de consistência *flow table* para aplicação das argamassas no substrato. Um gabarito

de madeira limitador da espessura do revestimento era posicionado sobre a mesa de *flow table* e eram aplicados 10 golpes visando o adensamento da argamassa. Este procedimento foi adotado para todas as moldagens de corpos-de-prova ou ensaios no estado fresco, com objetivo de padronizar os procedimentos que envolveram adensamento e moldagens com as argamassas, isto porque se seguissem as recomendações das normas, que recomendam golpes com espátulas ou hastes as bolhas de ar se quebrariam ou até mesmo poderia incorporar mais ar nas argamassas, o que dificultaria a análise dos resultados.

3.2.3. Espessura dos revestimentos

A espessura do revestimento foi fixada em (40±2)mm para todos os tipos de argamassa e, para tanto, confeccionou-se um gabarito de madeira (que garantiu essa espessura da camada no instante da aplicação).

A opção por 40 mm deve-se ao fato de se querer analisar a influência do substrato e do acabamento superficial, é um valor próximo da média da espessura dos revestimentos das fachadas praticadas nas obras de nosso país (SOUZA, 1987).

3.2.4. Cura dos revestimentos

A preparação e moldagem das argamassas aconteceram em sala climatizada a (20±2)°*C* e umidade do ar a (55±5)%, onde os corpos-de-prova permaneceram por 24 horas e posteriormente por mais seis dias; após completar sete dias de moldagem em câmara úmida a (95±5)% de umidade e temperatura a (28±2)°*C*. Posteriormente permaneceram por mais 14 dias, completando 21 dias em ambiente de laboratório, a uma temperatura de (23±2)°*C* e (38±5)% de umidade relativa.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Apresentam-se a seguir as caracterizações de todos os materiais utilizados no projeto experimental, quais sejam: cimento Portland CP II F-32 e CP IV F-32, cal hidratada CH I, areia fina natural quartzosa, aditivo incorporador de ar, água e os substratos empregados.

3.3.1. Cimento

Foram empregados no estudo 3 dois tipos de cimento: cimento Portland composto com adição de fíler calcário CP II F-32, de mesmo lote, fornecido em sacos de 50 kg, produzido pela fábrica de cimento CIMPOR Cimentos do Brasil, em Cezarina-GO; e um cimento Portland pozolânico resistentes a sulfato CP IV-32 RS, de mesmo lote, fornecido em sacos de 50 kg, produzido pela fábrica de cimento Cimentos Votorantim Brasil Ltda., de Cocalzinho-GO. As caracterizações químicas e físicas estão indicadas nas Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4.

Tabela 3.2 - Propriedades químicas dos cimentos*.

Material	SO_3(%)	MgO (%)	SiO_2 (%)	Fe_2O_3(%)	Al_2O_3(%)	CaO (%)	Na_2O(%)	K_2O (%)
Cimento CP II F-32	2,65	0,77	16,51	2,98	4,65	61,35	0,29	0,31
Cimento CP IV-32 RS	2,38	5,12	-	-	-	-	0,78	-

***** dados fornecidos pelo fabricante.

Tabela 3.3 - Propriedades físicas e mecânicas do cimento CP II F-32*

PROPRIEDADES DETERMINADAS Análise Física		Valores Encontrados	Limites
Massa específica (g/cm³)		3,14	-
Finura	Resíduo na peneira 200 (%)	0,08	≤ 6,0
	Resíduo na peneira 325 (%)	-	-
	Área específica (cm²/g)	4800	≥ 3000
Tempo de Pega (h:min)	Início	2:40	≥ 1:00
	Fim	4:30	≤ 10:00
Água de Consistência - Pasta (%)		29,6	-
Expansibilidade de Le Chatelier (mm) a quente		0,0	≤ 5
Expansibilidade de Le Chatelier (mm) a frio		0,0	≤ 5
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	21,2	≥ 10,0
	7 dias	28,8	≥ 20,0
	28 dias	38,7	≥ 32,0

* dados fornecidos pelo fabricante.

Tabela 3.4 - Propriedades físicas e mecânicas do cimento CP IV-32 RS*.

PROPRIEDADES DETERMINADAS Análise Física		Valores Encontrados	Limites
Massa específica (g/cm³)		3,01	-
Finura	Resíduo na peneira 200 (%)	2,0	≤ 8,0
	Resíduo na peneira 325 (%)	10,5	-
	Área específica (cm²/g)	5135	-
Tempo de Pega (h:min)	Início	6:00	≥ 1:00
	Fim	9:00	≤ 12:00
Água de Consistência - Pasta (%)		29,7	-
Expansibilidade de Le Chatelier (mm) a quente		0,0	≤ 5

Expansibilidade de Le Chatelier (mm) a frio		0,0	≤ 5
Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	24,0	≥ 10,0
	7 dias	30,8	≥ 20,0
	28 dias	36,9	≥ 32,0

* dados fornecidos pelo fabricante.

3.3.2. Cal Hidratada

Cal hidratada CH I, de mesmo lote, fornecido em sacos de 15 kg, produzido pela ICAL – Indústria de Calcinação Ltda., em São José da Lapa-MG. As caracterizações químicas e físicas estão apresentadas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 Tabela de caracterização e análise de cal hidratada – CHI SUPERCAL*

Determinações	(%)
P.P.C.	24,95
CaO total	71,60
MgO	0,43
SiO2 + RI	1,87
Fe_2O_3	0,22
Al_2O_3	0,42
SO_3	0,24
TOTAL	99,74
S	0,098
CO_2	4,24
CaO disp. (sacarose)	64,11
Umidade	0,88
Plasticidade	147,18
FINURA (%)	
Peneiras (mesh)	**Ret. acum.**
30	0,00
100	0,88
200	1,88

* dados fornecidos pelo fabricante.

3.3.3. Areia fina natural quartzosa

Como agregado miúdo foi utilizado areia natural extraída do Rio Claro, município de Israelândia (GO), a qual, de acordo com a norma ABNT: NBR NM 52 2003, apresenta uma massa específica de 2,69 g/cm³ e de acordo com a ABNT: NBR 7251, 1982 apresenta uma massa unitária de 1,57 g/cm³. A composição granulométrica do agregado miúdo e seu módulo de finura (MF) foram realizados conforme a norma ABNT: NBR NM 248 2001 e são apresentados na Tabela 3.6 e Figura 3.7.

Tabela 3.6 - Areia natural, de composição granulométrica de agregado miúdo - NBR NM 248, com procedência do rio Claro, município de Israelândia (GO).

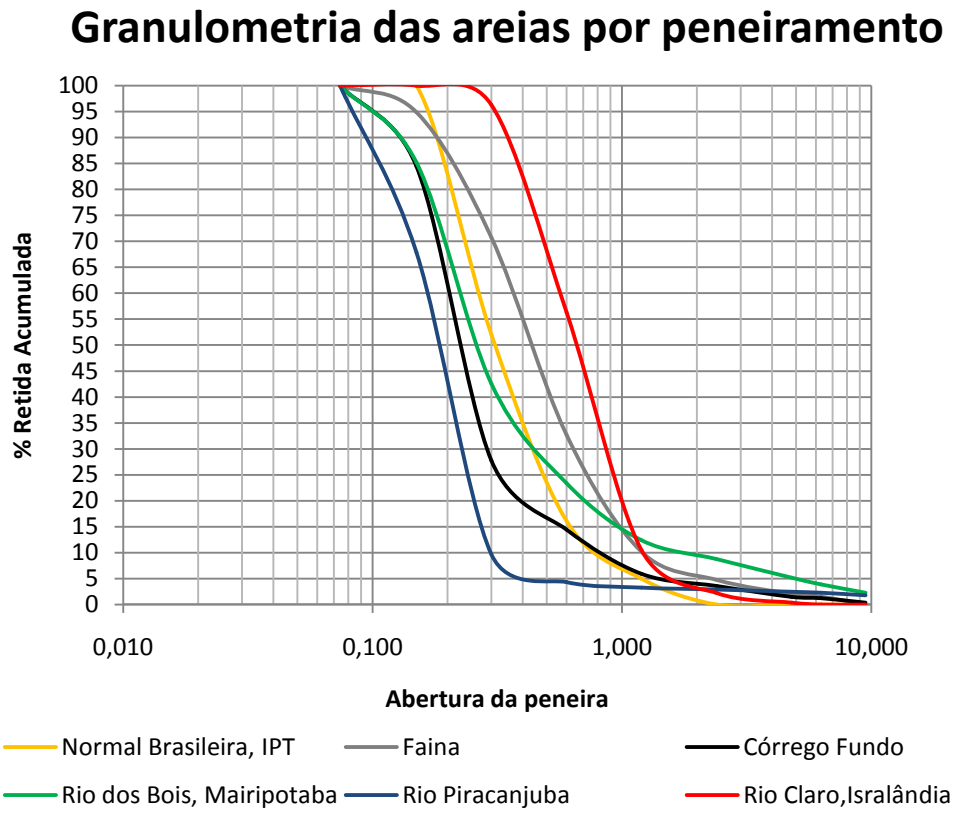


Figura 3.7- Distribuição granulométrica da areia natural, conforme ABNT NBR NM 248

Tabela 3.7 - Resultados de caracterização das areias utilizadas no estudo 1

Areia	MF	DMC (mm)	Impurezas Orgânica Húmicas (ppm)	def D10	C_U	C_C	SO	ɣ (g/cm³)	δ (g/cm³)	IV (%)
Normal Brasileira	1,73	1,2	ISENTO	0,80	0,35	1,27	0,69	2,63	1,42	46,20
Faina	2,15	2,4	200	1,30	0,28	0,85	0,61	2,62	1,40	52,44
Córrego Fundo	1,38	2,4	300	0,80	0,25	0,49	0,72	2,66	1,45	53,51
Rio Dos Bois	1,80	4,8	300	1,80	0,14	0,45	0,57	2,65	1,42	52,58
Rio Piracanjuba	0,92	0,6	300	0,30	0,60	1,07	0,69	2,65	1,43	52,96
Rio Claro Israelândia	1,66	1,2	200	1,40	0,39	1,03	0,68	2,66	1,57	58,02

Legenda

DMC - Dimensão Máxima Característica
def - Diâmetro Efetivo
MF - Módulo de finura
Impurezas Org. Húmicas
SO - Coeficiente de segregação
CU - Coeficiente de Uniformidade
CC - Coeficiente de Curvatura
IV - Índice de vazios
ɣ - Massa específica
δ - Massa unitária

3.3.4. Aditivo Incorporador de Ar

Utilizou-se nos estudos 3,4,5 e 6 como aditivo incorporador de ar: MICRO AIR AS883-E de fabricação da BASF, a caracterização química de todos aditivos seguem apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Caracterização dos aditivos incorporador de ar utilizados no estudo 2.

	Aparência Visual	pH 23° *C*	Densidade 23° *C* (g/cm^3)	Teor de Sólidos (%)
Mset Cal	Líquido Amarelo	5,7-6,3	1,01	10-11
Micro Air AS 883 E	Líquido Avermelhado	10-12	1,020-1,060	13-17
MicroAir EC	Líquido Avermelhado	11-13	1,020-1,060	13-17
Sika Era	Líquido Preto	11-13	1,018-1,025	9,5-12,5
Quimical	Líquido Escuro	10,5	1,10	5
Veda Reboco	Líquido Claro Cinza	10	1,00	25
Detergente neutro Ypê	Líquido Amarelo	-	-	-

3.3.5. Água

No proporcionamento das argamassas foi utilizada água potável da companhia de abastecimento local, SANEAGO.

3.3.6. Substrato

No estudo 4 foram empregados três tipos de substrato: um substrato de bloco de concreto, um substrato de bloco cerâmico e o substrato padrão, conforme Tabela 3.9 e Figuras 3.8 e 3.9.

Nos demais estudos utilizaram-se o substrato padrão.

Tabela 3.9 - Caracterização do substrato bloco de concreto

Nomenclatura	Descrição	Marca Comercial/ tipo
Bloco de Concreto	Bloco de Concreto Para Alvenaria de Vedação	Bloco Santa Vitória, de: 7 cm x19cm x 39 cm
Bloco Cerâmico	Bloco Cerâmico Portante	Cerâmica Estrela, de: 12 cm x 12 cm x 25 cm
Substrato Padrão	Substrato Padrão ABCP	Conforme ABNT NBR 14082 2004.

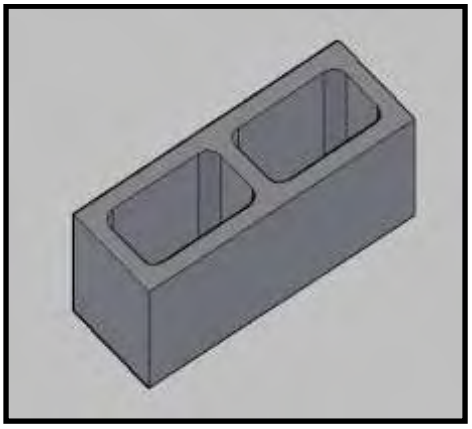


Figura 3.8 – Bloco de concreto da marca Santa Vitória, 7 cm x 19 cm x 39 cm.

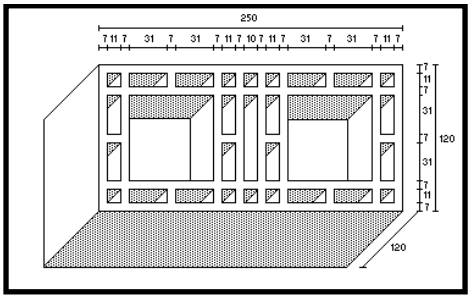


Figura 3.9 - Ilustração do bloco cerâmico para alvenaria estrutural, 12 cm x 12 cm x 25 cm.

Nos estudos 5 e 6 utilizaram-se placas de substrato padrão, disponíveis no mercado nacional, com dimensão de 25 cm x 50 cm e espessura igual a 2 cm (Figura 3.10). Os substratos foram confeccionados e ensaiados em acordo com os procedimentos da ABNT: NBR 14082 2004. A Tabela 3.10 reúne os valores médios dos ensaios de absorção capilar e resistência de aderência à tração superficial, com respectivos lotes (fornecidos pelo fabricante).

Tabela 3.10 - Resultados médios de absorção capilar e de resistência de aderência à tração superficial de amostras das placas de substrato padrão

Lote	Volume de água absorvida em 4 horas (cm^3)	Resistência de aderência à tração superficial (MPa)
34 D	0,30	2,40
35 D	0,40	2,50
36 D	0,30	2,30

A Figura 3.10 apresenta a face inferior do substrato padrão que foi utilizado nos estudos 3, 4, 5 e 6.

Figura 3.10 - Face lisa do substrato padrão, que esteve em contato com a forma, de 25 cm x 50 cm x 2 cm.

3.4. MÉTODOS

3.4.1. Preparo do Substrato

Nos estudos 5 e 6 foram utilizados apenas substratos padrão ABCP na superfície em contato com as formas. Optou-se por utilizar a face lisa do substrato, pois melhor representa uma estrutura de concreto em contato com as formas. Foram submetidos a uma etapa de esmerilhamento com disco graniteiro 120 para a retirada do filme de aditivo desmoldante utilizada na confecção deste substrato.

Com intuito de padronizar a absorção os substratos foram secos em estufa a (70±2)ºC até a constância de massa ±48 horas.

Os substratos bloco cerâmico, e bloco de concreto também foram secos em estufa a (70±2)ºC até a constância de massa ±48 horas.

3.4.2. Preparo das Argamassas

As argamassas foram preparadas em betoneira de eixo inclinado, com capacidade de 120 litros, utilizando-se de uma inclinação de 30^{o}, conforme Romano, Schreurs, Silva, Cardoso, Barros, John e Pileggi (2009) e o processo de mistura das argamassas é apresentado nos Tabelas 3.11 e 3.12.

Tabela 3.11 - Processo de mistura da argamassa mista 1:1:6 cimento:cal:areia

Mistura da Argamassa Mista	**A II M**	
Quantidade de material em pó	Cimento: 8,0 kg; Cal: 4,1 kg; Areia: 73,5 kg	
Quantidade de água	Para cada betonada adicionava-se 16,03 litros de água.	
Método de Mistura	Primeiramente, misturou-se, em betoneira vedada cal e areia (material em pó) por 5 minutos, depois adicionou-se 10 litros de água, misturando por mais 6 minutos (massa branca). Essa massa ficou em processo de maturação por 48 horas. Posteriormente colocou-se a massa branca mais o cimento misturando-se por 3 minutos, então adicionou-se o restante da água e misturou-se por mais 3 minutos.	
Tempo de Mistura	Cal + Areia (material em pó)	5 minutos
	Cal + areia + água (10 litros)	6 minutos
	Tempo de Maturação	48 horas
	Cal + Areia + Cimento	5 minutos
	Cal + Areia + Cimento + água (6,03 litros)	5 minutos
	Total na presença de água	10 minutos

Tabela 3.12 - Processo de mistura da argamassa 1:6 cimento:areia

Mistura da Argamassa	**A II S, A II 10, A II 20, A II 30,**		
Quantidade de material em pó	Cimento: 8,3 kg; Areia: 76,4 kg		
Quantidade de água	Para cada betonada adicionava-se 16,49 litros de água.		
Método de Mistura	Primeiramente, misturou-se, em betoneira vedada cimento e areia (material em pó) por 5 minutos, depois se adicionou total da água por mais 6 minutos. Para as argamassas aditivadas retirou-se 2 litros de água, sendo 1 litro para diluição do aditivo incorporador de ar e o outro litro para lavagem do recipiente do aditivo IAR. Este material foi acrescido aos materiais umedecidos na metade do tempo de mistura (3 minutos) - onde se desligou a betoneira para limpeza com colher do material aderido as bordas e acrescentou-se o aditivo incorporador de ar diluído e o 1 litro separado usado para lavagem do recipiente.		
Tempo de Mistura	Cimento + Areia (material em pó)	5 minutos	
	Cimento + areia + água (14,49 litros)	3 minutos	
	Cimento + Areia + Aditivo + restante da água	A II S	3 minutos
		A II 10	4 minutos
		A II 20	5 minutos
		A II 30	7 minutos
	Total na presença de água	A II S	6 minutos
		A II 10	7 minutos
		A II 20	8 minutos
		A II 30	10 minutos

A Tabela 3.13 apresenta o proporcionamento das argamassas utilizadas no programa experimental desta dissertação.

Tabela 3.13 – Tabela de proporcionamento das argamassas

Traços em volume e em massa (agregado seco)	Identificação dos traços	Relação agreg/aglom Kg/kg	Relação água/aglo. Kg/kg	Relação água/cimento kg/kg	Consumo de aditivo kg/m³	Consumo de cimento kg/m³	Consumo de cal kg/m³	Consumo de agregado seco em massa e volume kg-dm³
1 : 1 : 6 1 : 0,4947 : 8,8618	A II M	5,93	1,34	2,00	-	151,05	74,72	1338,57 - 855
1:6 1 : 8,8618	A II S	8,86	2,00	2,00	-	162,13	-	1377,62 - 880
	A II 10	8,86	1,91	1,91	0,80	159,20	-	1236,33 - 790
	A II 20	8,86	1,40	1,40	0,78	155,46	-	1356,68 - 866
	A II 30	8,86	1,40	1,40	0,70	139,51	-	1421,03 - 907

3.4.3. Aplicação das argamassas de revestimento na mesa de *flow table*

Buscando padronizar e minimizar o efeito da variável mão de obra (a qual não faz parte do escopo do trabalho) optou-se por empregar um procedimento padronizado de aplicação da argamassa no substrato, bem como adensamento de corpos-de-prova para teste das argamassas aos quais foram posicionados na mesa de *flow table* (ABNT: NBR 7215 1996) e submetidos a 10 golpes, com velocidade de 1 golpe por segundo, conforme Figura 3.11.

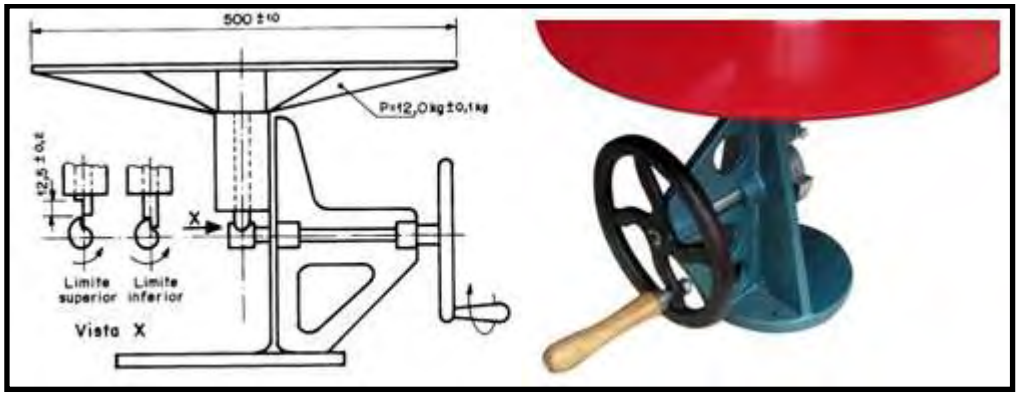


Figura 3.11 – Mesa de *flow*, conforme ABNT NBR 7215 1996.

3.4.3.1. Procedimentos de aplicação das argamassas nos substratos

Primeiramente posicionou-se o gabarito de madeira e lançou a argamassa de forma a preencher toda a extensão delimitada pelo gabarito de madeira sobre o substrato, conforme Figura 3.12.

Figura 3.12 – Colocação da argamassa no molde.

Após preenchimento, a superfície foi rasada com uma régua metálica e foram aplicados como forma de adensamento 10 golpes na mesa de *flow*, sendo um golpe por segundo, ver Figura 3.13.

Figura 3.13 – Adensamento da argamassa no substrato na mesa de *flow*.

Em seguida a argamassa foi sarrafeada com régua metálica, conforme Figura 3.14, a fim de se garantir a espessura de (40±2) mm e manter um acabamento sarrafeado.

Figura 3.14 – Sarrafeamento com régua metálica.

Depois de aplicadas as argamassas permaneceram em sala climatizada com temperatura de (20±2)° *C* e umidade em (55±10)% por 24 horas. Foi observado o tempo ideal para desempeno de aproximadamente 4 horas após a aplicação, as placas que iriam compor o estudo 6 receberam acabamento desempenado com desempenadeira de madeira, conforme Figura 3.15, enquanto as demais foram apenas sarrafeadas.

Figura 3.15 – Desempeno com desempenadeira de madeira, realizado em parte dos revestimentos do estudo 6.

Paralelamente à moldagem dos revestimentos sobre os substratos foram moldados corpos-de-prova prismáticos 40 mm x 40 mm x 160 mm para ensaios de resistência a compressão e flexão, corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm para compressão, tração por compressão diametral, absorção por capilaridade e imersão e módulo de deformação estático. Estes corpos-de-prova foram moldados e adensados também na mesa de *flow table* adensados com 10 golpes, sendo um golpe por segundo, conforme ilustrado na Figura 3.16.

Figura 3.16 – Adensamento de corpos-de-prova para ensaio de flexão.

3.4.4. Definição dos pontos a serem ensaiados

Conforme o item 4.3 da ABNT: NBR 13528/2010, os pontos de arrancamento devem estar espaçados entre si além dos cantos e das quinas em, no mínimo 50 mm. Para tal foi confeccionado um gabarito para locação dos furos, conforme Figuras 3.17.

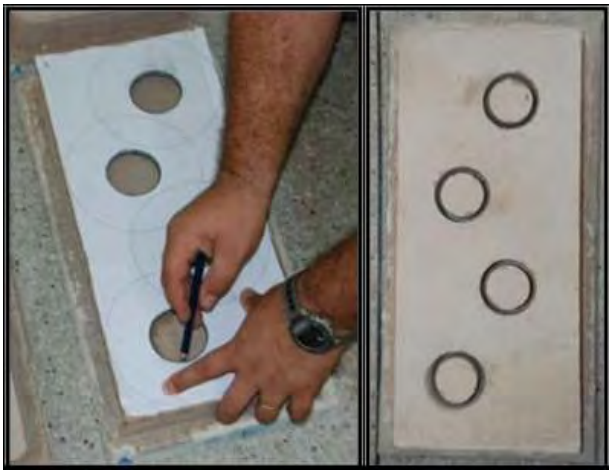


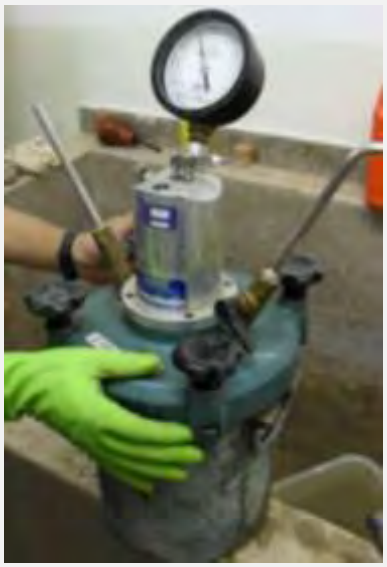
Figura 3.17 – Gabarito para locação dos furos no revestimento conforme a norma (ABNT:NBR 13528 2010).

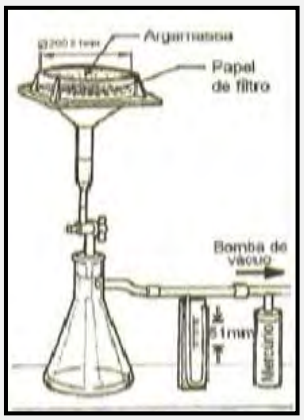
3.5. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO FRESCO

Os ensaios relativos a avaliação das propriedades das argamassas no estado fresco encontram-se na Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Avaliação das argamassas no estado fresco

Ensaio	NBR	Nº CPs	Ilustração	Descrição do Ensaio
Consistência e plasticidade – através da mesa de consistência (*flow table*)	**ABNT: NBR 13276 2005**	**Média de 3 determinações**		O método consiste na medida do espalhamento (diâmetros) de uma porção de argamassa inicialmente moldada em fôrma tronco-cônica sobre uma mesa de ensaio. A argamassa moldada é forçada a deformar-se mediante quedas padronizadas dessa mesa (30 golpes em 30 segundos) e são medidos 3 diâmetros ortogonais da base do tronco de cone de argamassa após a deformação, sendo a média aritmética dessas medidas o chamado índice de consistência, expresso em milímetros. Este método avalia ao mesmo tempo consistência e plasticidade.
Argamassa de Assentamento e Revestimento: Determinação da consistência pela penetração do cone – Método de ensaio.	**ASTM C 780 (1996)**	**Média de 3 determinações**		O método consiste em preencher um copo cilíndrico de volume igual a 400 cm^3 com argamassa e submetê-lo a 10 golpes na mesa de *flow table* adotado neste trabalho para padronizar resultados. Em seguida, procede-se a rasadura do topo do copo, removendo o excesso de argamassa por meio de uma régua, com movimentos de vai e vem perpendicular ao seu deslocamento. Toda a operação, de preenchimento do recipiente até a rasadura e o acabamento da superfície do topo da argamassa, é realizada dentro de um período de tempo de 90 segundos. Na sequência, eleva-se a haste de penetração do aparelho e coloca-se o copo preenchido com a argamassa centralizado sob ela, descendo cuidadosamente a haste até que a sua extremidade entre em contato com a superfície da argamassa, posição esta em que a haste é fixada por meio do parafuso e o indicador ajustado para a marca zero da escala. Decorridos 30 segundos da liberação da haste de penetração, trava-se o parafuso, realiza-se imediatamente a leitura da penetração, em milímetros.

Ensaio	NBR	Nº CPs	Ilustração	Descrição do Ensaio
Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado pelo método gravimétrico	**NBR 13278 (2005)**	**Média de 3 determinações**		O método gravimétrico consiste em comparar a massa específica da argamassa fresca contendo ar com a massa específica da argamassa fresca sem ar (calculada teoricamente). Neste ensaio utiliza-se o mesmo material da moldagem do ensaio do cone, onde o preenchimento do copo cilíndrico de volume igual a 400 cm³ é submetido a 10 golpes na mesa de *flow table* procedimento adotado neste trabalho para padronizar resultados
Teor de ar pelo método pressométrico	**NM 47, 2002**	**1 determinação por amostra**		O método pressométrico (manométrico) baseia-se na lei de Boyle-Mariotte para determinação do teor de ar, pela relação da pressão e do volume, em uma dada temperatura. Neste método, o medidor empregado é constituído por uma campânula de medida e um sistema de vedação. O seu princípio de operação consiste na introdução de água, até uma determinada altura, sobre a amostra de volume conhecido de argamassa, e na aplicação de uma pressão de ar pré-estabelecida, por meio de uma pequena bomba, sobre a água. A determinação consiste na redução do volume de ar da amostra de argamassa, pela observação da quantidade de água que penetra sobre a pressão aplicada, sendo que essa quantidade é calibrada em termos de porcentagem de vazios de ar na amostra de argamassa. Assim, o equipamento fornece diretamente o volume de ar da amostra.

Ensaio	NBR	Nº CPs	Ilustração	Descrição do Ensaio
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água.	**ABNT NBR 13277 2005**	**1 determinação**	 	O ensaio consiste em utilizar o funil de Buchner, modificado ABNT NBR 9290, 1996, com bomba de vácuo a uma pressão de 51 mm de Hg durante 15 min. O referido funil com um papel filtro é pesado sem a argamassa, esta é colocada no mesmo onde são aplicados 16 golpes de soquete padronizado nas bordas e 21 golpes no centro totalizando 37 golpes. Faz-se a pesagem do funil com argamassa, aplica-se o vácuo por 15 minutos. Efetua-se a nova pesagem e utilizando a equação da norma com as diferenças de massa determina-se a quantidade de água retida na argamassa após a sucção.
Perda de água para substratos porosos	**Ensaio não normalizado**	**1 determinação**	 	As argamassas produzidas foram aplicadas sobre os substratos porosos e todo o procedimento ocorreu em sala climatizada com temperatura de (20±2)°C e umidade relativa do ar (55±5)%. Os corpos de prova foram moldados com um gabarito metálico para garantir a espessura de 40 mm, colocado sobre o substrato e depois foram retiradas amostras em três camadas conforme ilustrado na Figura nos tempos de 1 minuto, 10 minutos, 30 minutos e 1 hora, estas amostras foram secas em estufa até a constância de massa. Com estes dados foi gerado um gráfico de perda de água em função do tempo seguindo a metodologia proposta por SCARTEZINI, 2002.

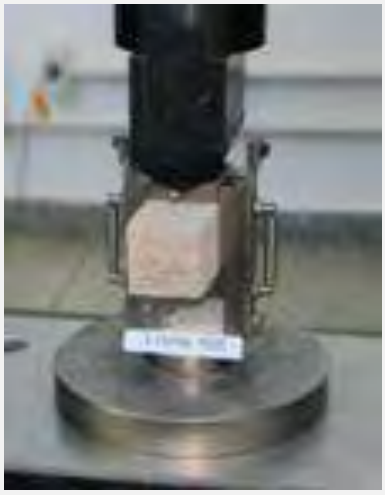
3.6. AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DAS ARGAMASSAS NO ESTADO ENDURECIDO

A Tabela 3.15 apresenta todos os ensaios relativos a avaliação das propriedades das argamassas no estado endurecido, as quais foram avaliadas com as argamassas com 21 dias após a moldagem dos corpos-de-prova.

Tabela 3.15 – Avaliação das argamassas no estado endurecido

Ensaio	NBR	N° CPs	Ilustração	Descrição do Ensaio
Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão	**NBR 7215/1996**	**3 x 7 = 21 ensaios**		Foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm curados 24 horas em sala climatizada a (20±2)°*C* e umidade do ar a (55±5)% e posteriormente colocados em água saturada de cal até completarem 7 dias. Após este período os corpos-de-prova foram retirados da água e mantidos em ambiente de laboratório a uma temperatura de (23±2)°*C* e (38±2)% de umidade relativa dias quando foram ensaiados em máquina Universal de Ensaios microprocessada EMIC DL30.
Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos	**NBR 7222/1994**	**3 x 7 = 21 ensaios**		Foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm x 100 mm curados 24 horas em sala climatizada a (20±2)°*C* e umidade do ar a (55±5)% e posteriormente colocados em água saturada de cal até completarem 7 dias. Após este período, os corpos-de-prova foram retirados da água e mantidos em ambiente de laboratório a uma temperatura de (23±2)°*C* e (38±2)% de umidade relativa até 21 dias quando foram ensaiados em máquina Universal de Ensaios microprocessada EMIC DL30.

Ensaio	NBR	N° CPs	Ilustração	Descrição do Ensaio
Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão	**NBR8522/2008**	**3 x 7 = 21 ensaios**		Segundo a ABNT NBR 8522 2008 – Determinação do módulo de deformação estática e diagrama tensão-deformação, com corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura. Neste caso, também são empregados 3 corpos-de-prova por amostra, e o método prescreve a determinação dos módulos de deformação longitudinal, tangente inicial, e diagramas de tensão-deformação sob carregamento estático, à compressão axial simples. Os corpos-de-prova foram ensaiados em máquina Universal de Ensaios microprocessada EMIC DL30, com 21 dias de idade e seguindo o procedimento de moldagem de todos os corpos de prova do estado endurecido.
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão.	**NBR 13279/2005**	**3 x 7 = 21 ensaios**		Foram moldados 3 corpos-de-prova prismático de 40 mm x 40 mm x 160 mm curados 24 horas em sala climatizada a $(20\pm2)°C$ e umidade do ar a $(55\pm5)\%$ e posteriormente colocados em água saturada de cal até completarem 7 dias. Após este período, os corpos-de-prova foram retirados da água e mantidos em ambiente de laboratório a uma temperatura de $(23\pm2)°C$ e $(38\pm2)\%$ de umidade relativa até 21 dias quando foram ensaiados em máquina Universal de Ensaios microprocessada EMIC DL30.

Ensaio	NBR	N° CPs	Ilustração	Descrição do Ensaio
Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão.	**NBR 13279/2005**	**6 x7 = 42 ensaios**		Foram moldados 3 corpos-de-prova prismáticos de 40 mm x 40 mm x 160 mm curados 24 horas em sala climatizada a $(20\pm2)°C$ e umidade do ar a $(55\pm5)\%$ e posteriormente colocados em água saturada de cal até completarem 7 dias. Após este período os corpos-de-prova foram retirados da água e mantidos em ambiente de laboratório a uma temperatura de $(23\pm2)°C$ e $(38\pm5)\%$ de umidade relativa até 21 dias quando foram ensaiados em máquina Universal de Ensaios microprocessada EMIC DL30. Neste ensaio são reaproveitados os corpos de prova do ensaio de flexão, onde os 3 corpos-de-prova após serem ensaiados se transformam em 6 metades para o ensaio de compressão.
Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade	**NBR 9779/1995**	**3 x 7 = 21 ensaios**		Foram moldados 3 corpos-de-prova cilíndricos 50 mm x 100 mm após curados por 21 dias foram submetidos a uma lâmina d´água constante de (5 ± 1)mm onde foram feitas determinações de absorção de água com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h.

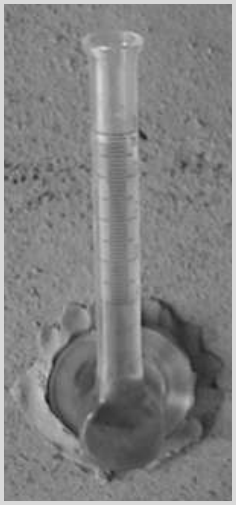
Ensaio	NBR	Nº CPs	Ilustração	Descrição do Ensaio
Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica	**NBR 9778/1987**	**3 x 7 = 21 ensaios**		Os corpos de prova do ensaio de absorção por capilaridade, após as 72h de ensaio, foram submersos em água a temperatura ambiente por 24h, e após 5h em água fervente.

3.7. AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS REVESTIMENTOS

Na Tabela 3.16 encontram-se todos os ensaios relativos a avaliação das propriedades do revestimento aplicado.

Tabela 3.16 – Avaliação das propriedades do revestimento aplicado

Ensaio	Norma	N° CPs	Ilustração	Descrição do Ensaio
Avaliação do desgaste ao corte pela serra–copo	**Ensaio não normalizado**	**12 x 7 = 84 ensaios**		Para Realização do ensaio de resistência de aderência à tração faz se necessário o corte das argamassas com a serra -copo, este procedimento provoca um desgaste nas argamassas. A avaliação consiste em determinar a variação de seção após as duas determinações dos diâmetros medidos no ensaio de aderência à tração. Sendo o percentual de desgaste igual a diferença das seções interna da serra-copo e a seção final medida em dois diâmetros. Durante o corte com a serra-copo utilizou-se o compressor da bomba de vácuo, para retirar o pó, evitando o travamento da serra - copo e amenizando o efeito deste travamento que causa movimentações laterais do equipamento, fragilizando a argamassa e interferindo no resultado. A utilização da furadeira de bancada com limitador de profundidade, evita movimentações laterais e corte excessivo no substrato melhorando a variabilidade do ensaio.

Ensaio	Norma	Nº CPs	Ilustração	Descrição do Ensaio
Revestimento de paredes de Argamassas Inorgânicas – Determinação da resistência de Aderência à tração	**NBR 13258/2010**	**12 x 7 = 84 ensaios**		A resistência de aderência à tração ou resistência ao arrancamento é a tensão máxima suportada por um corpo de prova de revestimento, quando submetido a um esforço normal de tração. Para realização do ensaio o revestimento é cortado perpendicularmente ao seu plano, podendo o corte ser realizado no estado plástico ou após o seu endurecimento. Total de corpos-de-prova: 12 pastilhas de 50 mm de diâmetro coladas com resina epóxi. O laudo de ensaio deve constar o local e a forma da fratura, a umidade da argamassa , a espessura do revestimento e a tensão deve ser corrigida em função da área de 2 diâmetros medidos.
Permeabilidade e absorção de água pelo "Método do Cachimbo"	**(CSTC-NIT nº 140, 1982)**	**3 x 7 = 21 ensaios**		Com este dispositivo é possível avaliar a permeabilidade de um revestimento de parede, através da propriedade de absorção de água, sob uma pressão inicial de 92 mm de coluna d'água. Esta pressão de água corresponde à ação estática de um vento com velocidade de aproximadamente 140 km/h. Neste método, o cachimbo fixado sobre o revestimento, através de um mastique, é preenchido com água até a referência de nível. Registra-se a cada minuto, a leitura do abaixamento do nível de água em cm, até completar 15 minutos ou o nível de água atingir a marca de 4 cm^3. Devem ser realizados no mínimo três pontos em cada revestimento conforme recomendações de DIAS e CARASEK, 2003.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo apresentam-se os resultados pertinentes aos estudos propostos no Capítulo 3, bem como as discussões, considerações e hipóteses formuladas através da análise dos valores médios de cada estudo onde as argamassas foram avaliadas no estado fresco, no estado endurecido e no revestimento aplicado. A seqüência de discussão dos resultados procurou seguir a mesma do programa experimental. Os valores individuais dos ensaios realizados são apresentados no Apêndice.

No estudo 1 (Influência da Areia) foram analisados cinco tipos de areia natural quartzosa e uma composição de areia normal brasileira conforme curvas de distribuição granulométrica apresentadas no Capítulo 3. Vários fatores, além da composição granulométrica, foram analisados para se optar pela areia a ser utilizada nesta pesquisa, dentre eles destacam-se: o modo de finura, o coeficiente de uniformidade, o índice de vazios, o teor de material pulverulento e o índice de impurezas orgânicas húmicas.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados das areias neste estudo.

Tabela 4.1 – Resultados de caracterização das areias.

Areia	MF	DMC (mm)	Impurezas Orgânicas Húmicas (ppm)	MP (%)	def D10	C_U	C_C	SO	γ (g/cm³)	δ (g/cm³)	IV (%)
Normal Brasileira (IPT)	1,73	1,2	-	-	0,80	0,35	1,27	0,69	2,63	1,42	46,20
Faina	2,15	2,4	200	1,60	1,30	0,28	0,85	0,61	2,62	1,40	52,44
Córrego Fundo	1,38	2,4	300	2,9	0,80	0,25	0,49	0,72	2,66	1,45	53,51
Rio Dos Bois	1,80	4,8	300	2,75	1,80	0,14	0,45	0,57	2,65	1,42	52,58
Rio Piracanjuba	0,92	0,6	300	2,6	0,30	0,60	1,07	0,69	2,65	1,43	52,96
Rio Claro Israelândia	1,66	1,2	200	1,73	1,40	0,39	1,03	0,68	2,66	1,57	58,02

Legenda

MF - Módulo de finura | **DMC** - Dimensão Máxima Característica | **def** - Diâmetro Efetivo

CU - Coeficiente de Uniformidade | Impurezas Org. Húmicas | **SO** - Coeficiente de segregação

γ - Massa específica | **CC** - Coeficiente de Curvatura | **IV** - Índice de vazios

δ - Massa unitária | **MP** - Teor de Material Pulverulento

Dos resultados obtidos destas areias optou-se pela areia do Rio Claro, porque ela, no aspecto visual, aparentou-se uma areia isenta de contaminação por argila e matéria orgânica, o que foi confirmada pelos ensaios de caracterização. Por apresentar a maior massa unitária da areia que, segundo estudos de Tristão (1995), o aumento da massa unitária aumenta a resistência mecânica e diminui o consumo de cimento. Esta areia apresentou também um coeficiente de curvatura acima de 1,0, o que a caracteriza como uma areia bem graduada.

Um estudo piloto feito com areia do Córrego Fundo, onde a argamassa chegou a incorporar 13% de ar (mistura sem aditivo) enquanto que utilizando areia normal (IPT), isenta de impurezas orgânicas, foi incorporado apenas 4%. Devido ao alto potencial de incorporação de ar essa areia foi descartada. Uma hipótese para este fato é a presença de descarga de laticínio, matadouro, ou outro tipo no leito do rio, o que pode ter contaminado essa areia.

No estudo 2, foram avaliadas várias marcas de aditivo incorporador de ar (IAR). Os teores de ar incorporado em argamassas no estado fresco foram comparados com os teores de uma argamassa de cimento, e uma de cal e areia, conforme os resultados apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3.

Tabela 4.2- Resultados no estado fresco variando a marca do aditivo incorporador de ar.

Aditivo	Teor de Aditivo smc*	a/c	*Flow Table (mm)*	Penetração do Cone (mm)	Massa Específica γ_f (g/cm³)	Retenção de Água (%)	Teor de ar pelo Método Gravimétrico (%)
MSET CAL	0,22%	1,38	189,41	45	1,58	75	29%
MICRO AIR AS 883 E	0,50%	1,12	181,39	48	1,47	67	36%
MICRO AIR EC	1,00%	1,02	171,75	38	1,48	76	36%
SIKA AER	0,20%	1,29	194,31	48	1,55	69	31%
QUIMIKAL	0,41%	1,78	228,46	32	1,77	42	17%
VEDA REBOCO	5,66%	1,30	217,36	74	1,34	43	41%
DETERGENTE YPE	1,00%	1,00	181,16	53	1,24	74	47%
AGAMASSA MISTA CAL – CH1	0,4772	1,75	198,58	26	1,90	78	11%

*smc Sobre a massa de cimento – recomendação do fabricante.

Dentre os aditivos avaliados neste estudo optou-se por utilizar no programa experimental o aditivo Micro Air AS 883 E, embasado nos resultados obtidos, tendo em vista que a argamassa produzida com este aditivo ficou dentro dos padrões de consistência, incorporação de ar e retenção de água, pré-estabelecidos para esta pesquisa, que foi um *flow* de (200±20)mm, e a penetração do cone de (35±5)mm.

Outro resultado interessante deste estudo são os dados do detergente neutro Ypê, que na sua composição química trata-se de um tensoativo aniônico biodegradável, com componente ativo a base de alquil benzeno sulfonato de sódio, que é à base da maioria dos incorporadores de ar utilizados na pesquisa. Chama-se atenção para os excelentes resultados no estado fresco que este material introduziu na argamassa em estudo, cabendo estudos posteriores de avaliação de durabilidade e propriedades no estado endurecido. Devido ao baixo custo do detergente em relação aos aditivos incorporadores de ar comercializados no Brasil, além da facilidade de obtenção do detergente, esse tipo de estudo justifica-se.

No estudo 3, após serem escolhidos a areia natural e o incorporador de ar, buscou-se avaliar o efeito de dois cimentos: o CP II-F-32 e o CP IV-32 RS. Os resultados desta avaliação no estado fresco encontram-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.3 - Resultados no estado fresco variando o tipo de cimento.

Tipo de Argamassa	a/c	Teor de ar pelo Método Gravimétrico (%)	Teor de Ar pelo Método Pressométrico (%)	*Flow Table (mm)*	Penetração do Cone (mm)	Massa Específica γ_f (g/cm³)	Retenção de Água (%)
A II S	2,00	9%	8,0%	205,62	34	1,89	45
A IV S	2,00	10%	7,5%	214,62	30	1,89	57
A II 10	1,91	12%	11,0%	187,24	29	1,85	42
A IV 10	1,78	12%	13,0%	178,27	31	1,78	54

Os resultados de avaliação do cimento no estado endurecido encontram-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Resultados no estado endurecido variando o tipo de cimento.

Tipo de Argamassa	γ_e (g/cm³)	CS (MPa)	CF (MPa)	TD (Mpa)	TF (MPa)	Ef (GPa)	Ec (GPa)
A II S	1,67	2,20	1,93	0,26	1,46	1,35	3,70
A IV S	1,62	2,23	2,36	0,25	1,45	1,22	3,60
A II 10	1,67	1,60	2,00	0,14	1,00	1,46	3,00
A IV 10	1,61	1,93	2,32	0,26	1,18	1,35	3,30

Legenda

γ_e - Massa específica endurecido | **CF** - Compressão prisma | **TF** - Tração na flexão | **Ec** - Módulo de elasticidade à compressão

CS - Compressão cilindro | **TD** - Tração por compressão diametral | **Ef** - Módulo de elasticidade na flexão

Tanto os resultados no estado fresco quanto no estado endurecido, apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4, não mostram variações consideráveis para estes dois tipos de cimento, quando combinados com o aditivo

Micro Air AS 883 E. Por isso optou-se pela utilização do cimento CP II-F-32 por se tratar de um cimento com resistência inicial maior e por ser um cimento de uso comercial no Brasil e na região Centro-Oeste.

No estudo 4 utilizou-se o cimento CP IV-32 RS e a argamassa de cimento:areia 1:6, sem aditivo incorporador de ar 0% e com aditivo para aproximadamente 10% de ar, onde variou-se o tipo de substrato, conforme resultados de ensaio de perda de água apresentados nas Figuras 4.1 e 4.2.

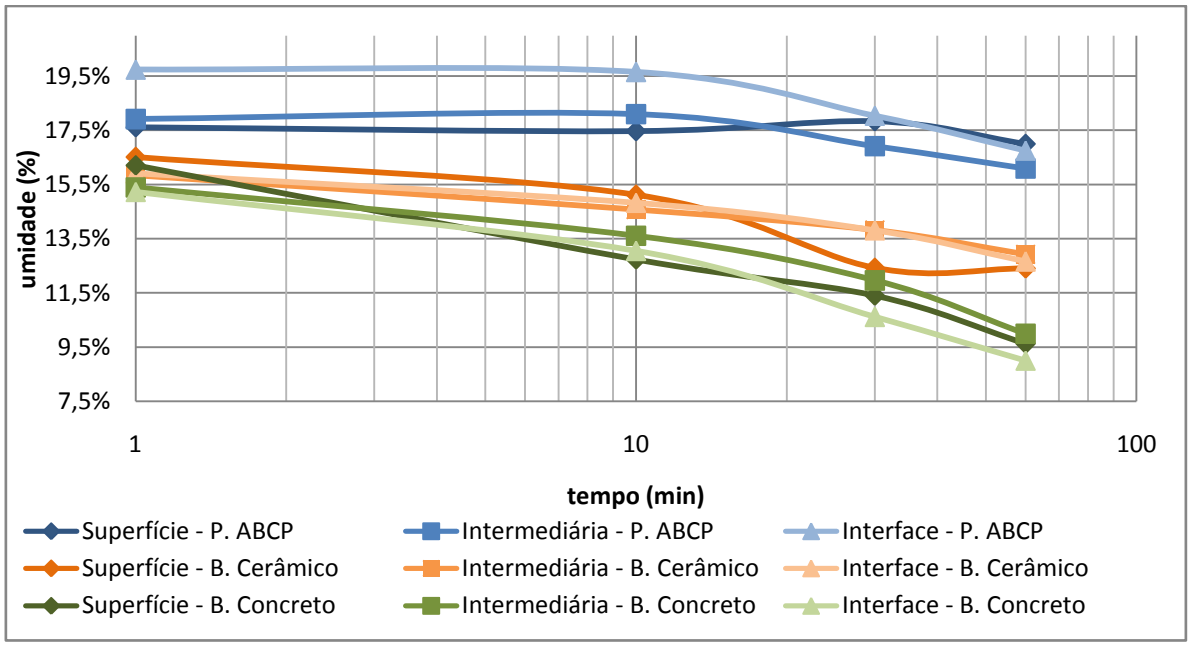


Figura 4.1 - Perda de água para substratos porosos A IV S.

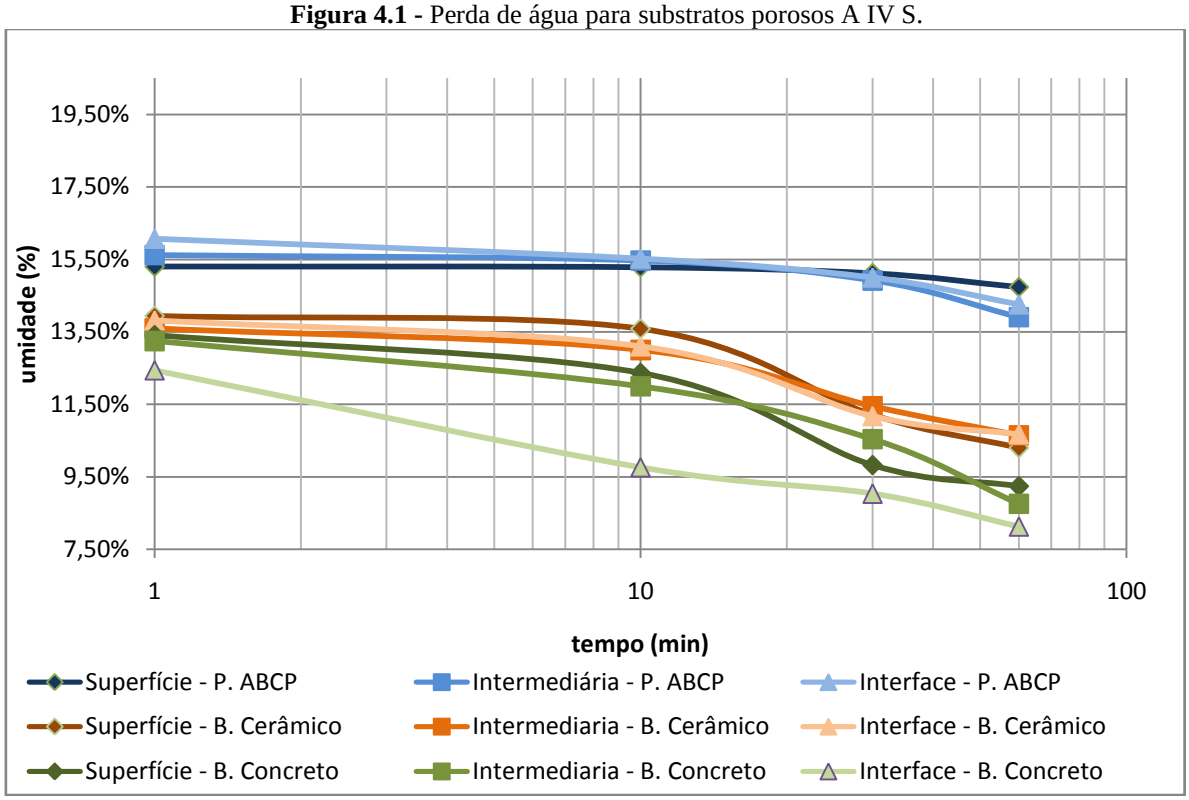


Figura 4.2 - Perda de água para substratos porosos variáveis A IV 10.

Analisando-se os gráficos das Figuras 4.3 e 4.4, as maiores perdas de água parecem ocorrer no bloco de concreto e em segundo lugar no bloco cerâmico, sendo a superfície do concreto onde ocorre a menor perda de água devido a sua menor permeabilidade e, consequentemente, menor sucção, quando comparado com o bloco de concreto.

Ao longo do tempo, o comportamento observado é bastante parecido, com o aumento da perda de água até o 10° minuto seguido de uma tendência a estabilização entre 30 minutos e 60 minutos, conforme observado por Scartezini (2002).

Os resultados de absorção de água, apresentados na Figura 3, pelo método do cachimbo mostram que quanto maior o teor de ar menor é o volume de água absorvido e menor é a taxa de absorção.

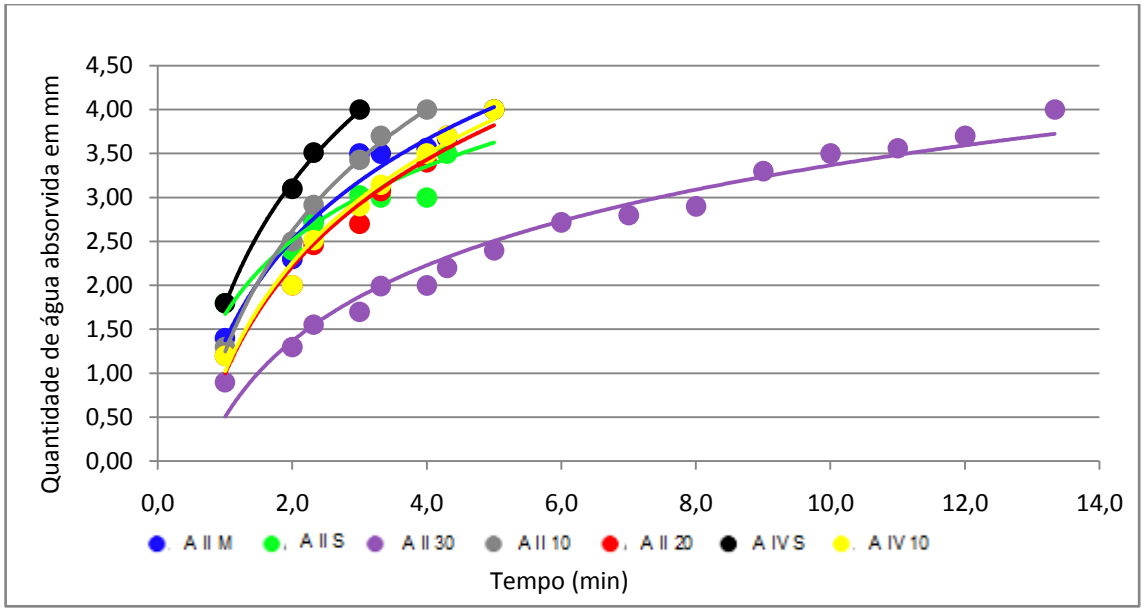


Figura 4.3 – Absorção de água pelo método do cachimbo.

O mesmo comportamento foi observado no ensaio de absorção por capilaridade, onde as argamassas com maior teor de ar apresentam menor absorção. O inverso só é observado no ensaio por fervura, ver coluna no tempo igual a 60k segundos da Figura 4.14, onde após imersão por fervura ocorre exatamente o contrário, uma maior absorção das argamassas com maior teor de ar, pois com esse método é possível preencher com água os poros produzidos pela incorporação de ar. Ressalta-se que as argamassas de uso da construção civil jamais estarão nessa condição, então é possível afirmar que a incorporação de ar reduz a permeabilidade das argamassas endurecidas. Estes resultados confirmam os resultados obtidos por Calhau (2000).

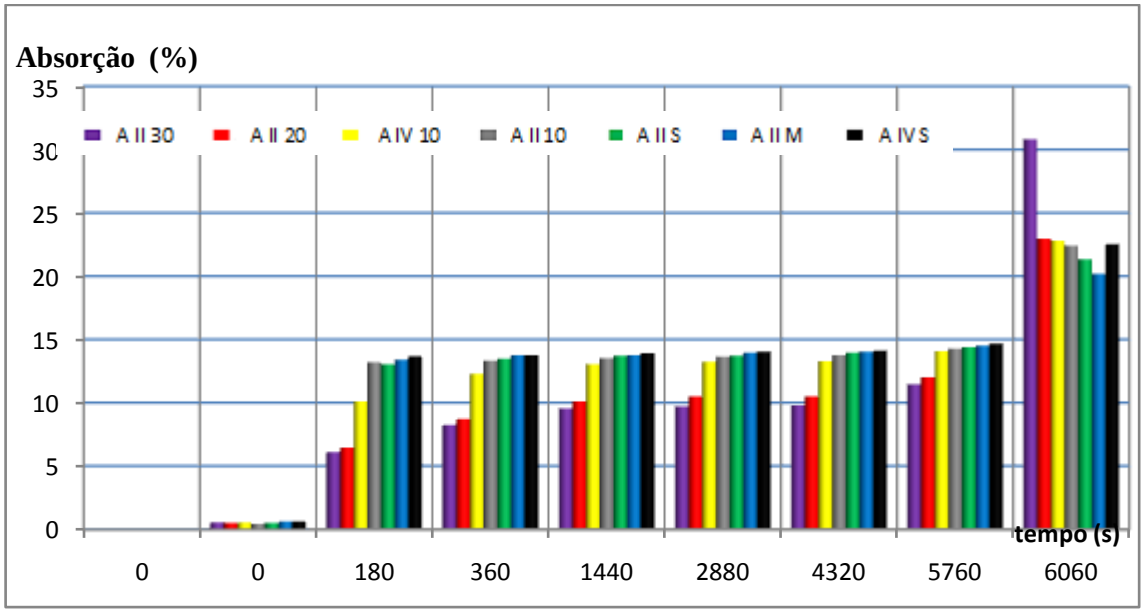


Figura 4.4 – Absorção de água por capilaridade, por imersão e fervura.

Na Figura 4.5, onde temos a argamassa com aditivo A IV 10, a perda de água é mais suave quando, conforme observa-se gráfico, devido a estes traços terem menos água e ao refinamento e obturação dos poros capilares pela bolha de ar do aditivo.

No estudo 5, utilizou-se o substrato padrão ABCP e argamassas com teores de ar variando em 10%, 20% e 30%, além da argamassa de refer~encia (0%). Os resultados destes estudos no estado fresco encontram-se na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Resultados no estado fresco variando teor de ar

Tipo de Argamassa	a/c	Teor de ar pelo Método Gravimétrico (%)	Teor de Ar pelo Método Pressométrico (%)	*Flow Table (mm)*	Penetração do Cone (mm)	Massa Específica γ_f (g/cm³)	RA (%)
A II M	2,00	12%	11,0%	233,15	54	1,85	87
A II S	2,00	9%	8,0%	205,62	34	1,89	45
A II 10	1,91	12%	11,0%	187,24	29	1,85	42
A II 20	1,40	22%	20,0%	159,60	32	1,68	56
A II 30	1,40	30%	31,0%	226,96	63	1,55	40

A Tabela 4.6 apresenta os resultados no estado endurecido variando o teor de ar incorporado. Ressalta-se os resultados da argamassa A II 20 que, dentre as argamassas aditivadas, apresenta os melhores resultados.

Tabela 4.6 – Resultados no estado endurecido variando teor de ar

Tipo de Argamassa	γ_e(g/cm^3)	CS(MPa)	CF(MPa)	TD(Mpa)	TF(MPa)	MF(GPa)	ME(GPa)
A II M	1,68	3,07	2,82	0,31	1,45	2,74	4,48
A II S	1,67	2,20	1,93	0,26	1,46	1,35	3,70
A II 10	1,67	1,60	2,00	0,14	1,00	1,46	3,00
A II 20	1,59	2,15	2,13	0,22	1,22	1,85	3,35
A II 30	1,46	1,67	1,86	0,18	1,08	2,10	2,80
Legenda							
γ_e- Massa específica endurecido	**CF**-Compressão prisma		**TF**-Tração na flexão		**ME**-Módulo de elasticidade à compressão		
CS-Compressão cilindro	**TD**-Tração por compressão diametral		**MF**-Módulo de elasticidade na flexão				

A padronização das moldagens de CP's e ensaios no estado fresco utilizando a mesa de consistência, diminuiu muito a variabilidade minimizando a execução defeituosa da compactação do material no recipiente padronizado de acordo com a ABNT: NBR 13278 2005 dos resultados principalmente na diferença no teor de ar pelo método gravimétrico x pressométrico. Com isto conseguiu-se valores mais próximos se comparados com resultados de outros pesquisadores Carasek, 1996; Calhau, 2000 e Alves, 2002.

Na Figura 4.5 tentou-se correlacionar o índice de consistência na mesa de *flow* com a penetração do cone, embora estes resultados não de boa correlação, conforme já descrito por Carasek (1996), Alves (2002), Calhau (2000) pois um ensaio avalia viscosidade e o outro tensão de escoamento, que sofre muitas alterações com a incorporação de ar, sendo mais indicado para esta avaliação ensaio como Vane Teste, utilizado por Alves (2002), ou *Squeeze-flow*, utilizado por Cardoso, Pileggi e John (2005).

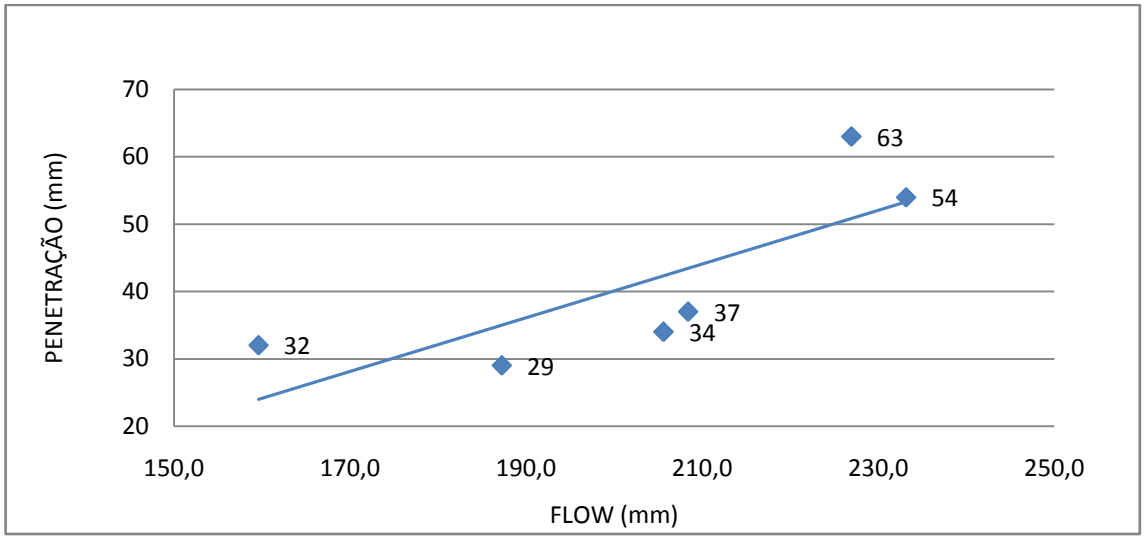


Figura 4.5- Correlação entre o índice de consistência e a penetração do cone.

A Figura 4.6 correlaciona o teor de ar com a densidade no estado fresco e apresenta um bom resultado por se tratar por grandezas diretamente proporcionais.

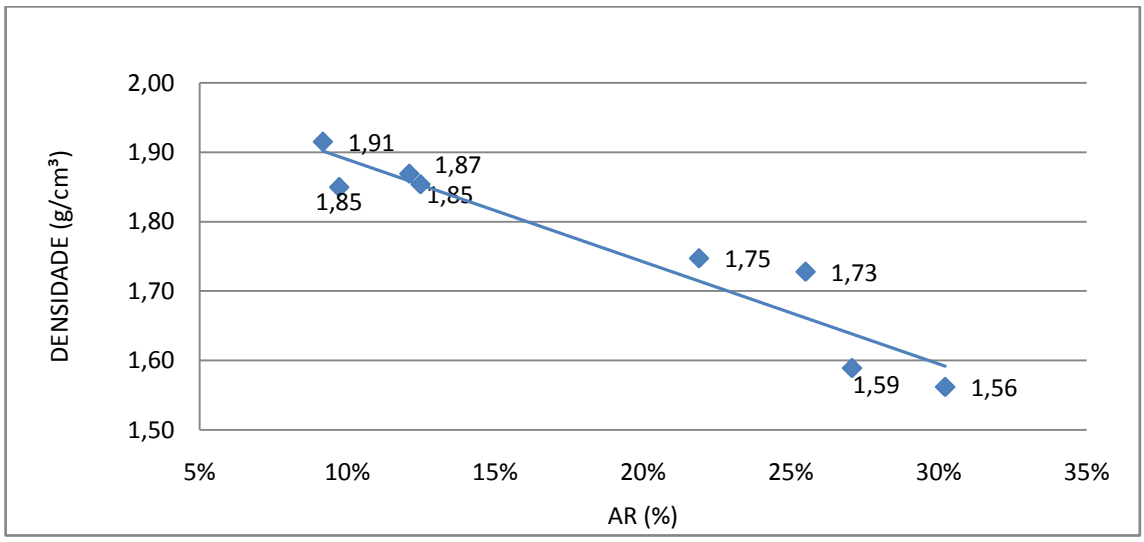


Figura 4.6 – Correlação entre o teor de ar e a densidade no estado fresco.

Os resultados apresentados nas Figuras 4.7 e 4.8 avaliam a resistência das argamassas no estado endurecido, variando a forma do corpo-de-prova. O comportamento das argamassas em ambos os ensaios apresenta-se bem similar, destacando-se um aumento de resistência para a argamassa A II 20, o que é explicado por esta argamassa ter seu a/c reduzido com a incorporação de ar e também pela diminuição das tensões internas durante a secagem que diminuem a perda de água, funcionando como uma película de cura, aumentando a resistência.

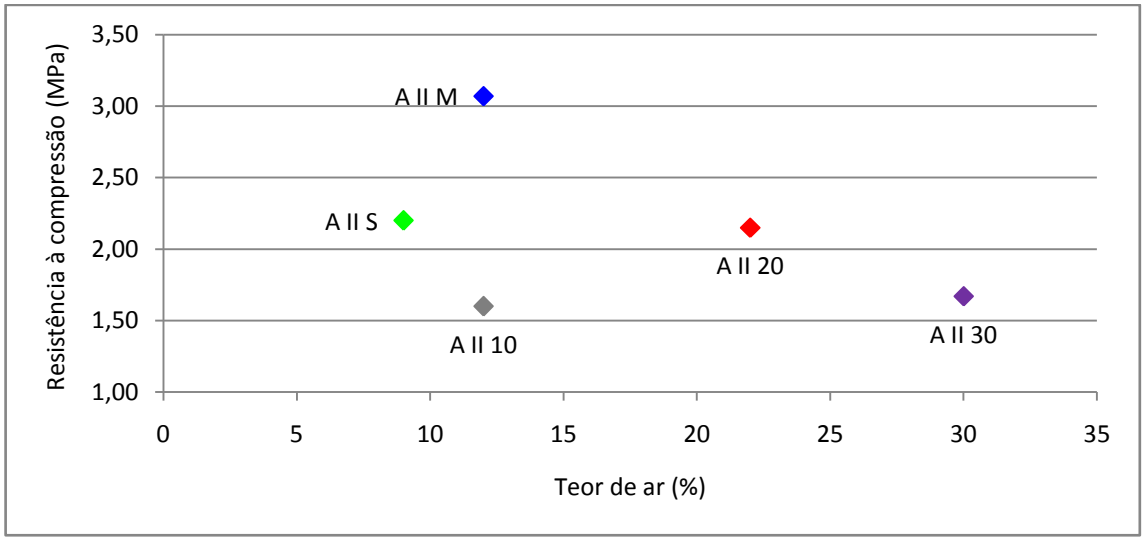


Figura 4.7 – Resultados de resistência à compressão em cp's cilíndricos 50x100 mm

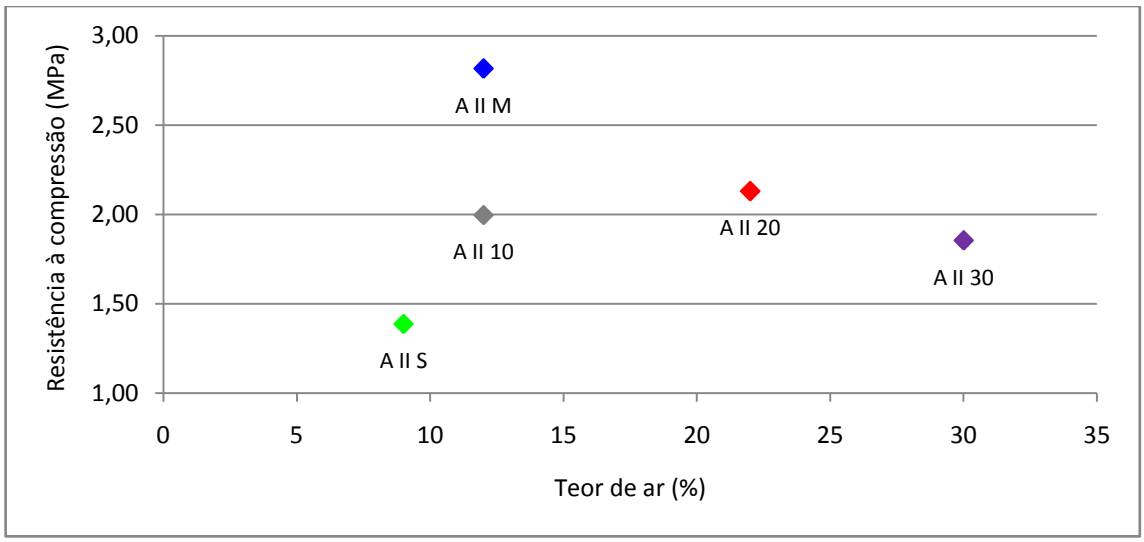


Figura 4.8 – Resultado de resistência à compressão em cp's prismático 40x40x160 mm.

Na Figura 4.9 é apresentado o resultado do módulo de elasticidade, onde, novamente, dentre as argamassas aditivadas, a argamassa A II 20 apresenta melhor resultado, devido a redução no a/c.

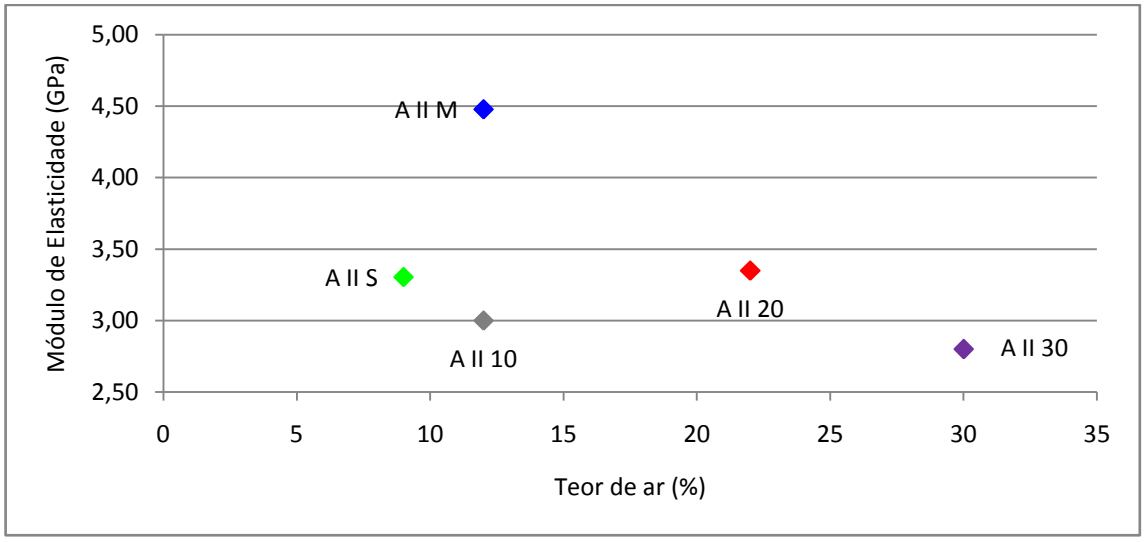


Figura 4.9 – Módulo de elasticidade estático à compressão.

Nas Figuras 4.10 e 4.11 mais uma vez é verificado o comportamento da argamassa A II 20, sendo que os dois resultados de resistência a tração bem distantes por se tratarem de ensaios diferenciados, mas os resultados de tração por compressão diametral quando comparados com ensaios de resistência de aderência se correlacionam, podendo, inclusive, ser utilizado para verificar a resistência a tração das argamassas quando o objetivo não for avaliação da interface argamassa/substrato, valendo para controle de qualidade da argamassa por se tratar de um ensaio mais rápido e mais barato.

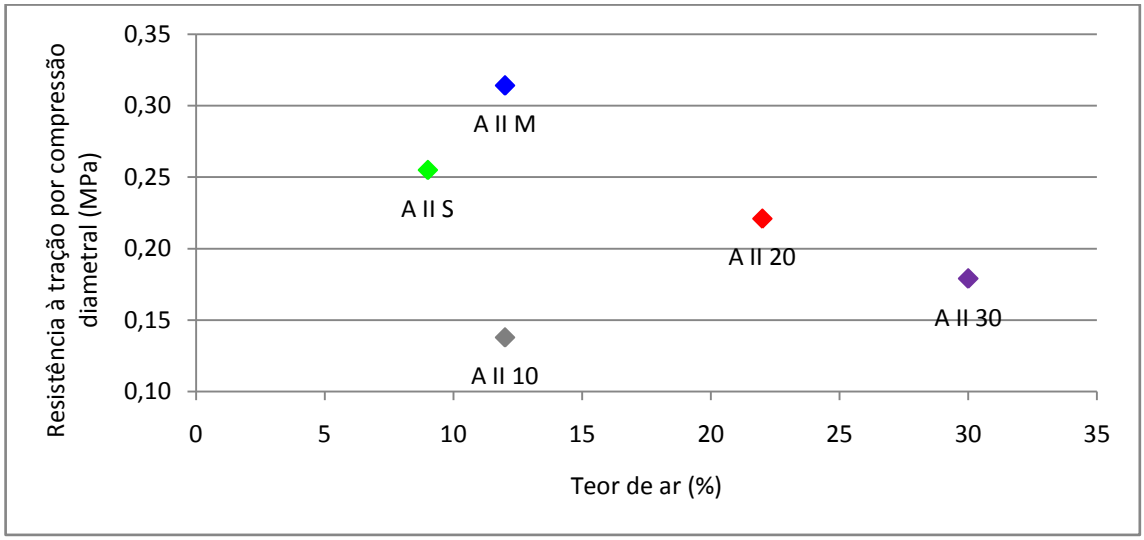


Figura 4.10 – Resistência à tração por compressão diametral em cp's 50x100mm.

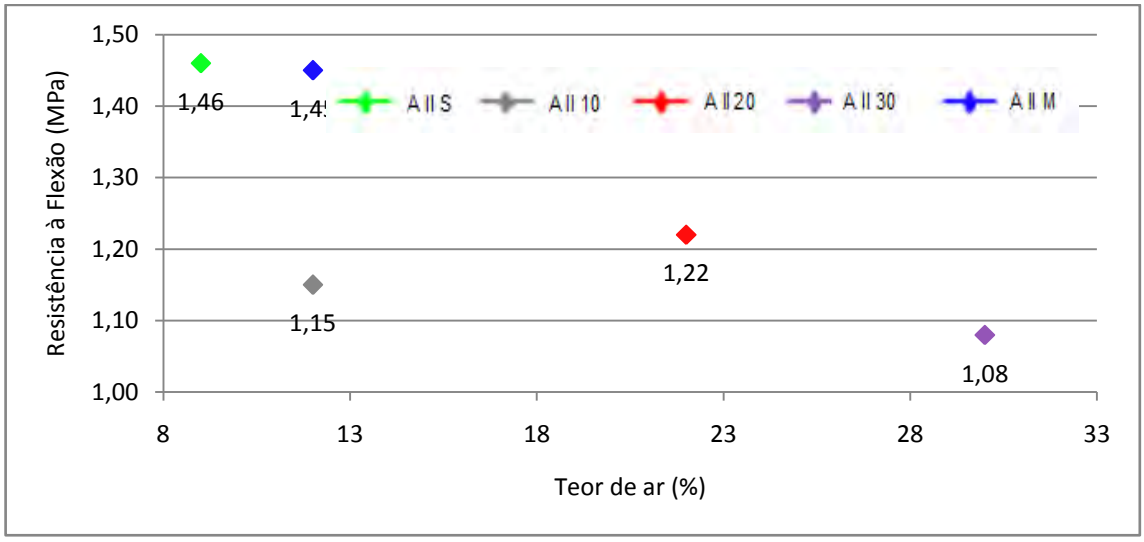


Figura 4.11 – Resistência à tração na flexão em cp's prismáticos 40x40x160 mm.

As Figuras 4.12 e 4.13 apresentam os gráficos de correlação entre resistência a compressão do cp cilíndrico e do cp prismático com modulo de elasticidade. E ambos os traços novamente a argamassa A II 20 apresenta o melhor resultado dentre as argamassas aditivadas.

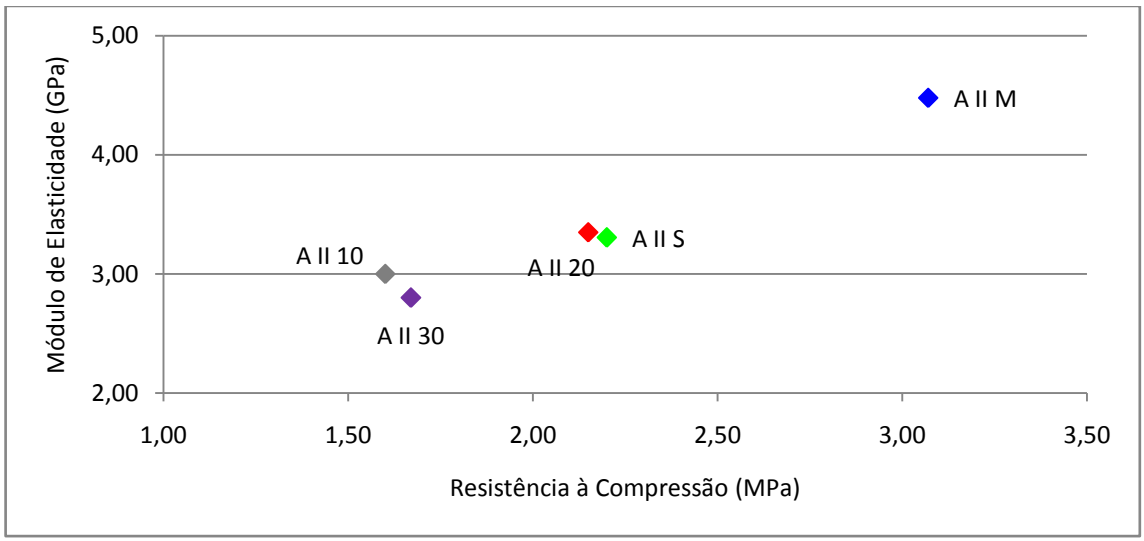


Figura 4.12 – Correlação entre o módulo de elasticidade e resistência à compressão simples.

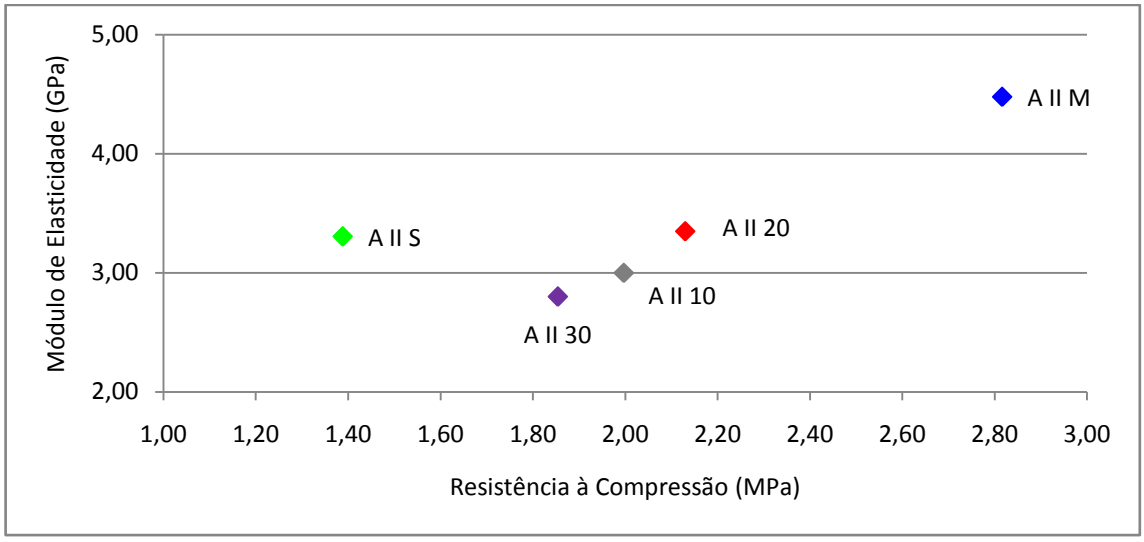


Figura 4.13 – Correlação entre módulo de elasticidade e resistência à compressão em cp's prismáticos 40x40x160mm.

A Figura 4.14 apresenta o gráfico da correlação tração por compressão diametral e modulo de elasticidade, onde novamente a argamassa A II 20 apresenta melhor resultado dentre as argamassas aditivadas.

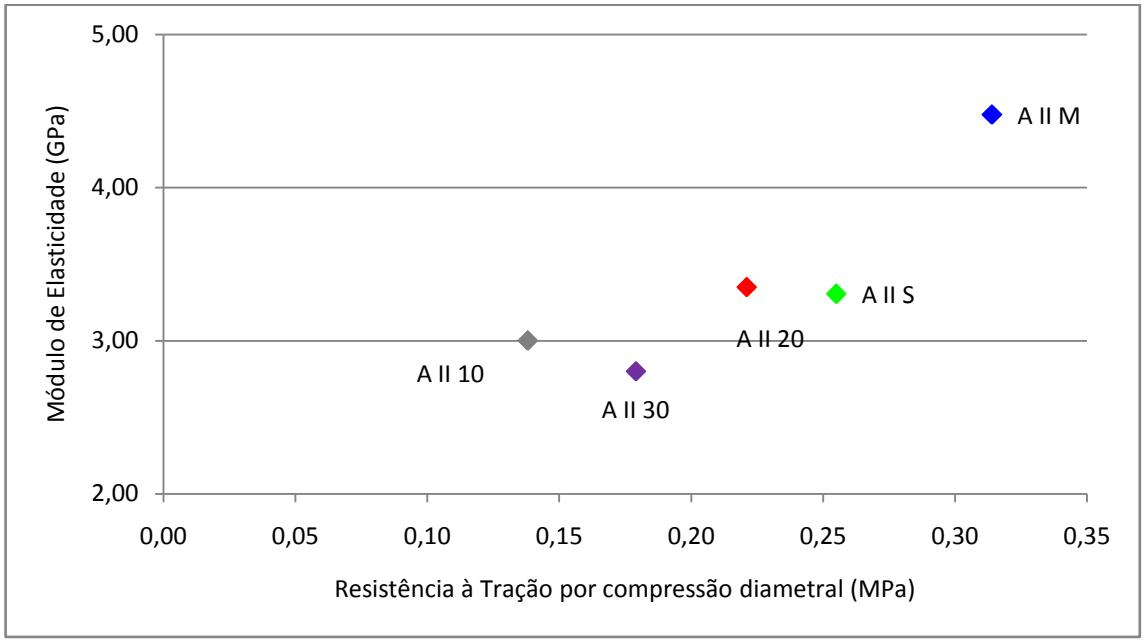


Figura 4.14 – Correlação entre o módulo de elasticidade estático e a resistência a tração por compressão diametral.

A Figura 4.15 apresenta o gráfico da correlação tração por compressão diametral e modulo de elasticidade, onde novamente a argamassa A II 20 apresenta melhor resultado dentre as argamassas aditivadas.

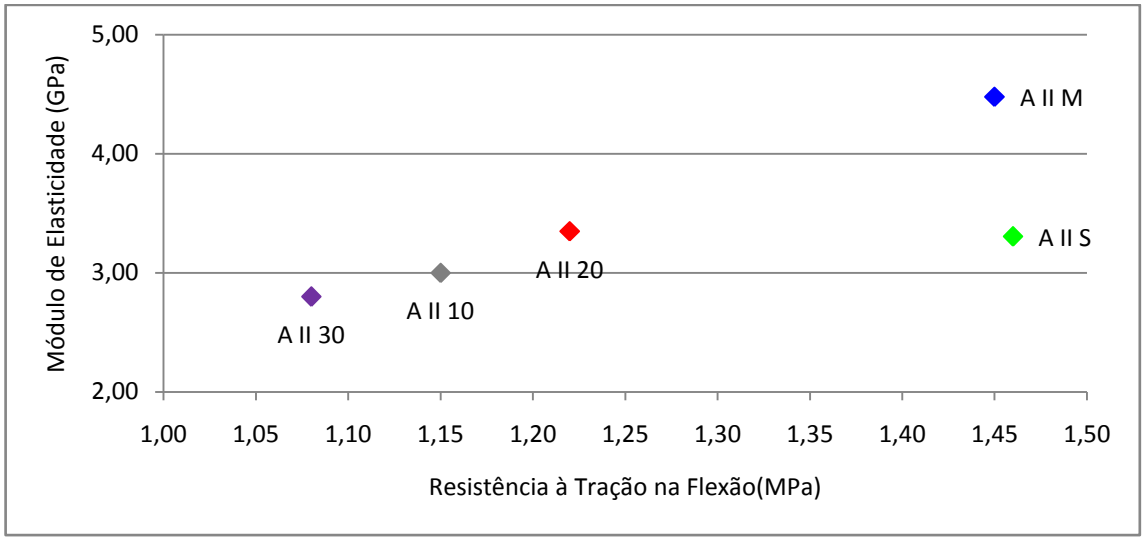


Figura 4.15 – Correlação entre resistência a tração na flexão e o módulo de elasticidade estático.

A Figura 4.16 apresenta o gráfico da correlação tração por compressão diametral e módulo de elasticidade, onde novamente a argamassa A II 20 apresenta melhor resultado dentre as argamassas aditivadas.

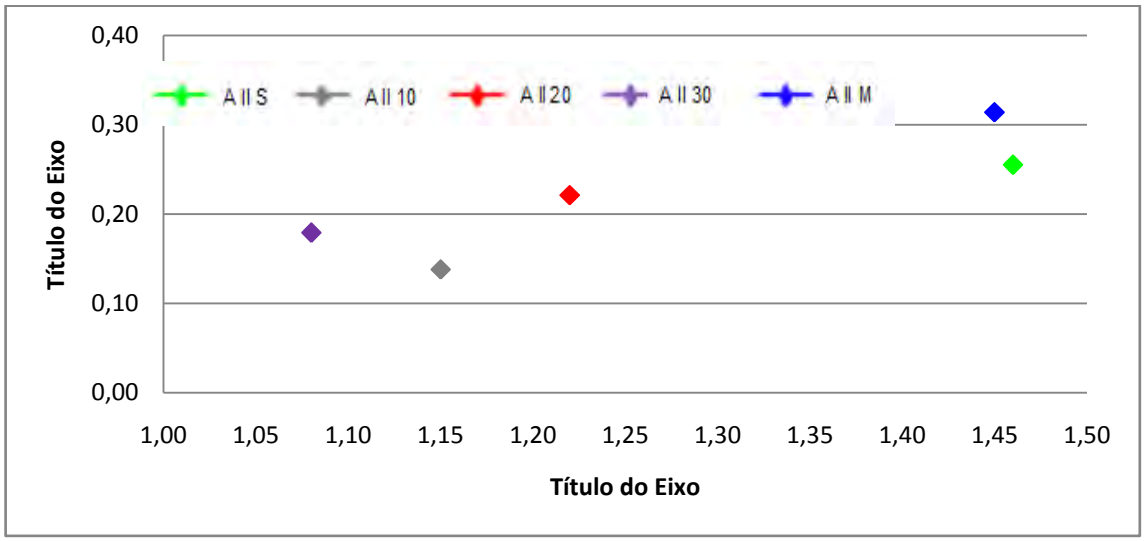


Figura 4.16 – Correlação à resistência à tração por compressão diametral *versus* resistência á tração na flexão.

A Figura 4.17 apresenta o gráfico da correlação tração por compressão diametral e modulo de elasticidade, onde novamente a argamassa A II 20 apresenta melhor resultado dentre as argamassas aditivadas.

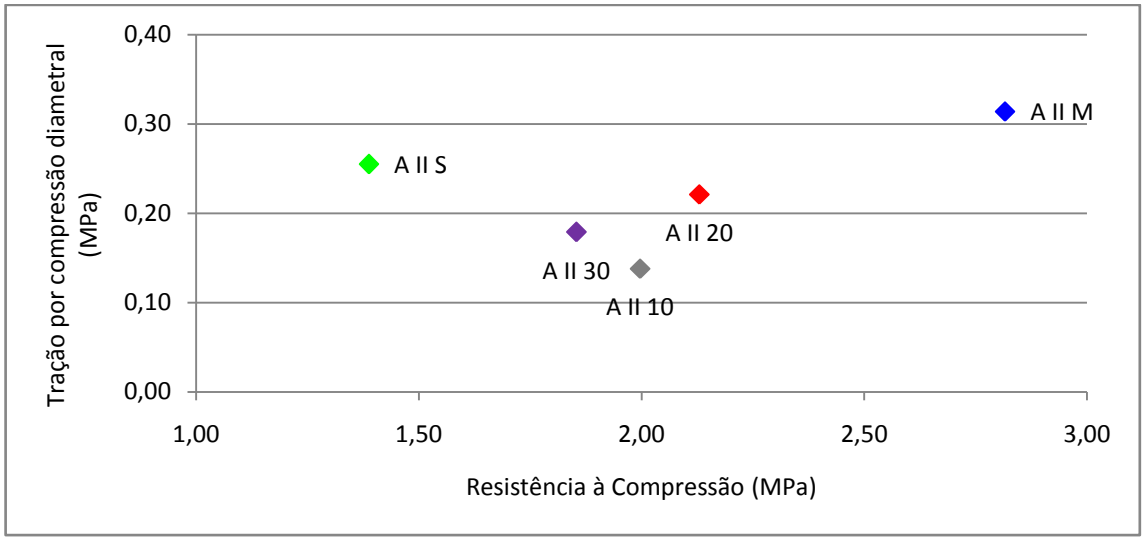


Figura 4.17 – Correlação entre a tração por compressão diametral e a resistência a compressão.

A Figura 4.18 apresenta o gráfico da correlação tração por compressão diametral e modulo de elasticidade, onde novamente a argamassa A II 20 apresenta melhor resultado dentre as argamassas aditivadas.

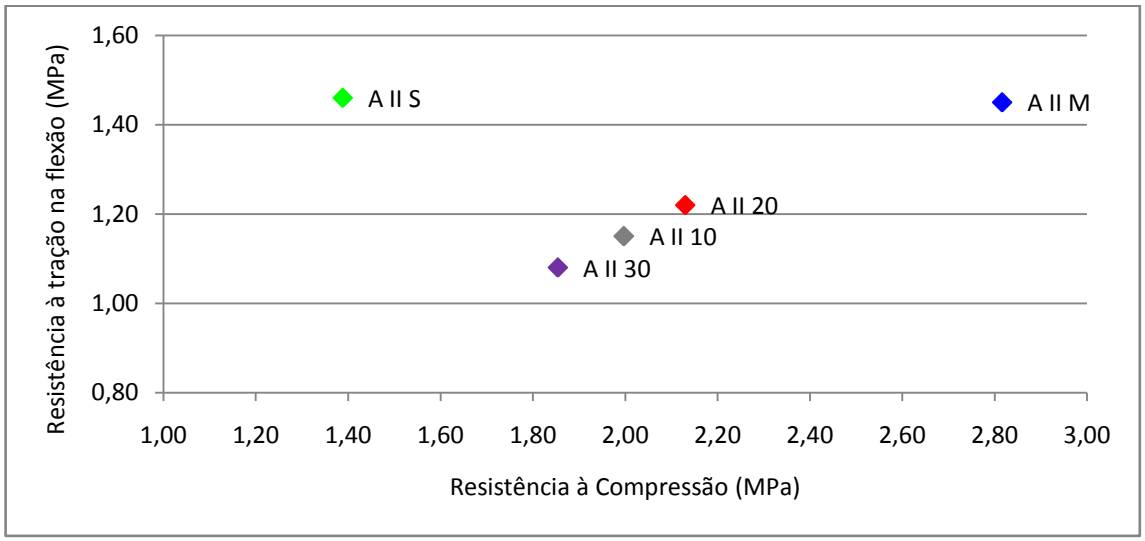


Figura 4.18 – Correlação entre a resistência a tração na flexão e a compressão.

No estudo 6 variou-se a interferência do tipo de acabamento superficial nos revestimentos aplicados. Conforme o mecanismo de ação das bolhas de ar, que por terem menor densidade tendem a subir estabilizando-se na superfície, o acabamento desempenado traz mais a nata, melhorando a resistência de desgaste ao corte com a serra-copo em relação ao acabamento apenas sarrafeado, conforme resultados da Figura 4.5.

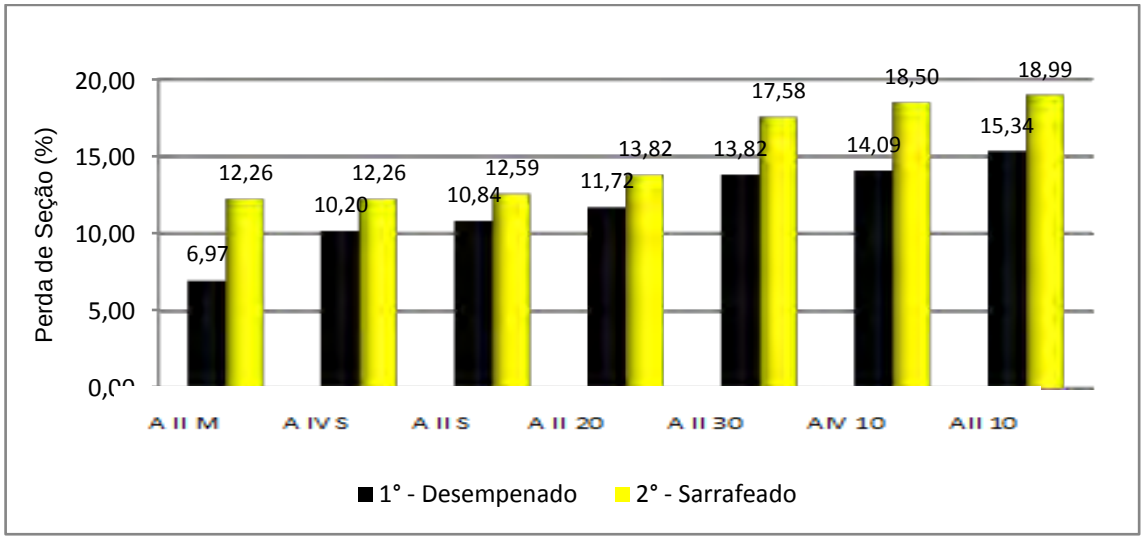


Figura 4.19 – Desgaste ao corte com a serra-copo (%).

Para avaliação dos resultados de resistência de aderência foi adotado a mesma metodologia adotada por Carasek (1996) trabalhando com a resistência potencial. Estes valores correspondem ao maior valor obtido em cada exemplar do ensaio de arrancamento. Este procedimento é semelhante ao adotado para o controle da resistência de corpos de prova de concreto. Tendo em vista que nenhum procedimento de execução deste ensaio tende a majorar os valores verdadeiros de existência de aderência, tais procedimentos como o corte, com a serra-copo (vibração), e o ajuste do equipamento de tração, podem induzir tensões laterais ao CP reduzindo ou até anulando a aderência e produzindo uma alta variabilidade nos resultados. Como o objetivo do trabalho é avaliar a influência do teor de ar nas argamassas, ao se utilizar a resistência potencial conseguiu-se minimizar os efeitos das interferências dos procedimentos de ensaio nos resultados. O acabamento desempenado parece apresentar melhores resultados do que o acabamento sarrafeado, conforme Figuras 4.6 e 4.7, em acordo com os resultados obtidos por Alves (2009).

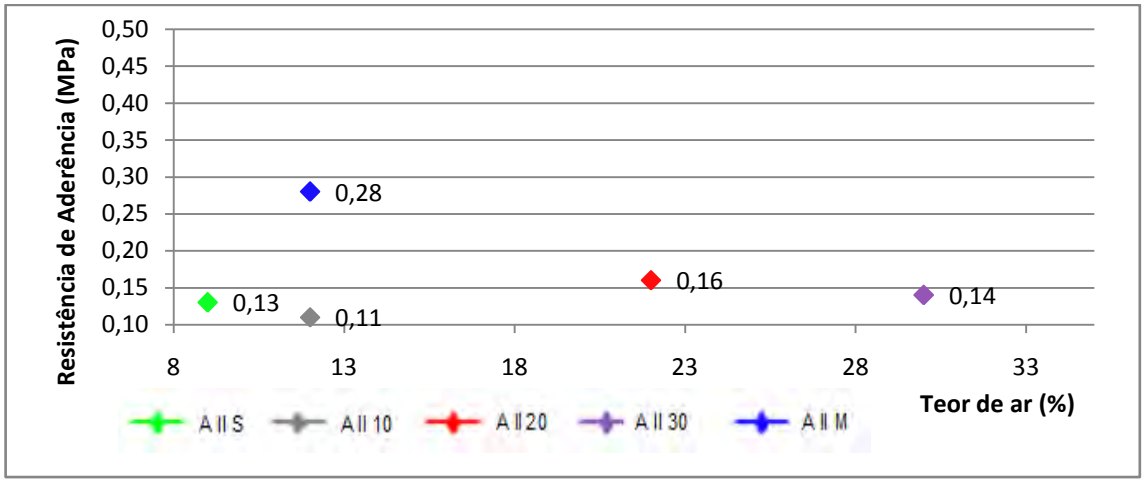


Figura 4.20 - Resistência de aderência no acabamento sarrafeado em substrato de concreto.

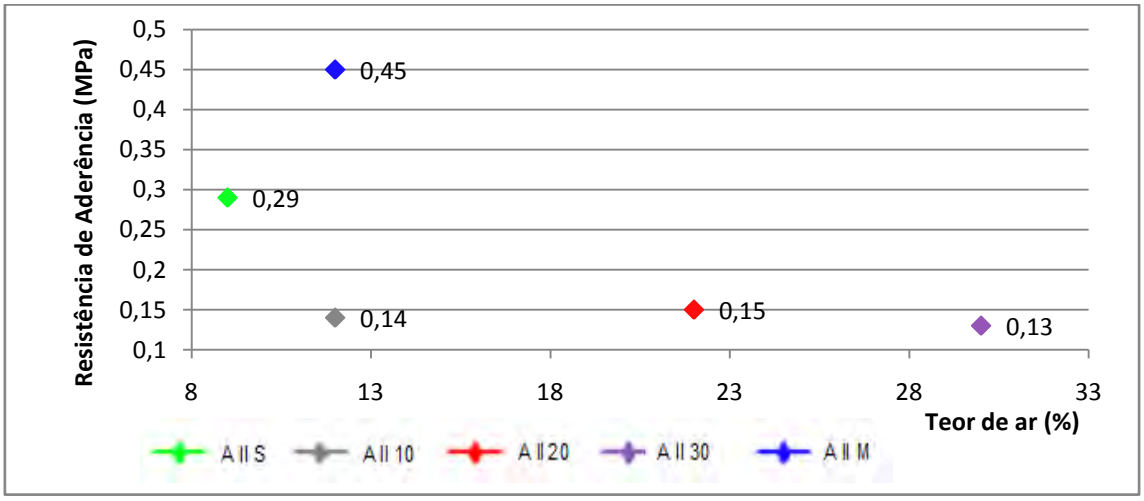


Figura 4.21- Resistência de aderência no acabamento desempenado em substrato de concreto.

Além do ganho ambiental da incorporação de ar, reduzindo o consumo de bens naturais não renováveis, a incorporação de ar nas argamassas aumenta a produtividade das argamassas por torná-las mais leves à aplicação, reduzindo em até 29% o custo das argamassas quando comparadas com a argamassa mista de cimento:cal:areia, conforme Tabela 4.6 e Figura 4.22.

Tabela 4.6 – Comparativo de custo das argamassas.

Tipo de Argamassa	Cal (kg/m³)	Areia (m³/m³)	Água (m³/m³)	Aditivo (kg/m³)	teor de ar (%)	Consumo de Aglomerante (kg/m³)	custo final m³ (R$)	custo final m³ ($)	Comparativo de Custo (redução de custo %)
A II 30	-	0,907	0,224	0,802	30,00	139,51	86,94	49,20	29,02
A IV 10	-	0,918	0,324	0,811	14,00	153,09	96,12	54,40	21,52
A II 20	-	0,866	0,214	0,765	22,00	155,46	96,88	54,83	20,90
A IV S	-	0,901	0,318	-	10,00	160,35	97,79	55,34	20,16
A II S	-	0,880	0,311	-	9,00	162,13	98,88	55,96	19,27
A II 10	-	0,790	0,266	0,698	12,00	159,20	99,85	56,51	18,48
A II M	74,724	0,855	0,302	0,755	12,00	151,05	122,48	69,32	0,00

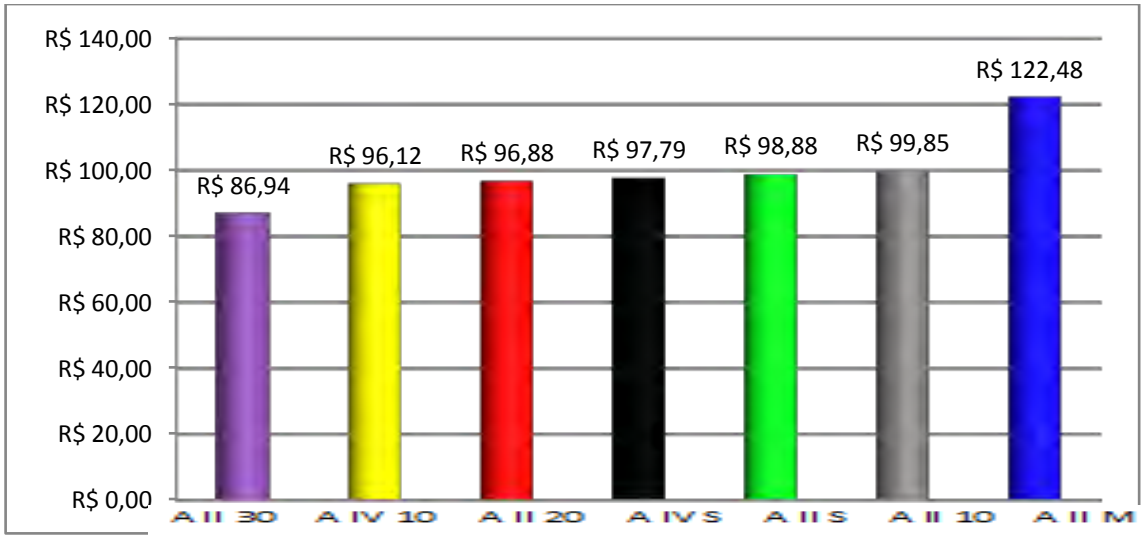


Figura 4.22 - Comparativo de custos das argamassas.

Os gráficos das Figuras 4.23, 4.24 e 4.25 apresentam a perda de água das argamassas variando o teor de ar nas camadas de interface, intermediária e superfície. Observa-se que a maior perda de água acontece nas camadas de interface pelas argamassas não aditivadas devido a diminuição do ângulo de contato das aditivadas, melhorando a perda de água para os substratos.

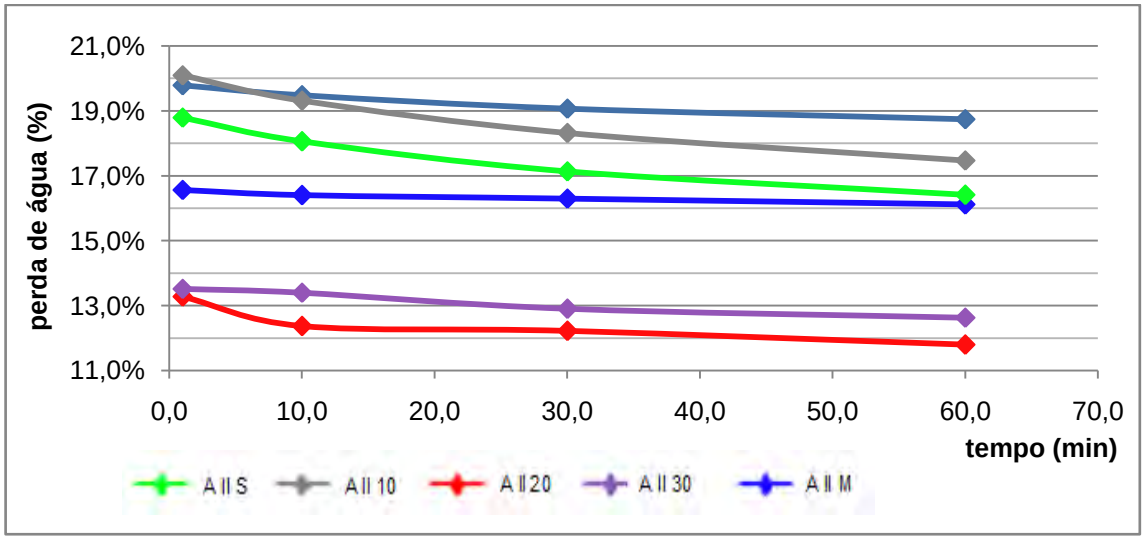


Figura 4.23 - Perda de água para o substrato na primeira camada (interface).

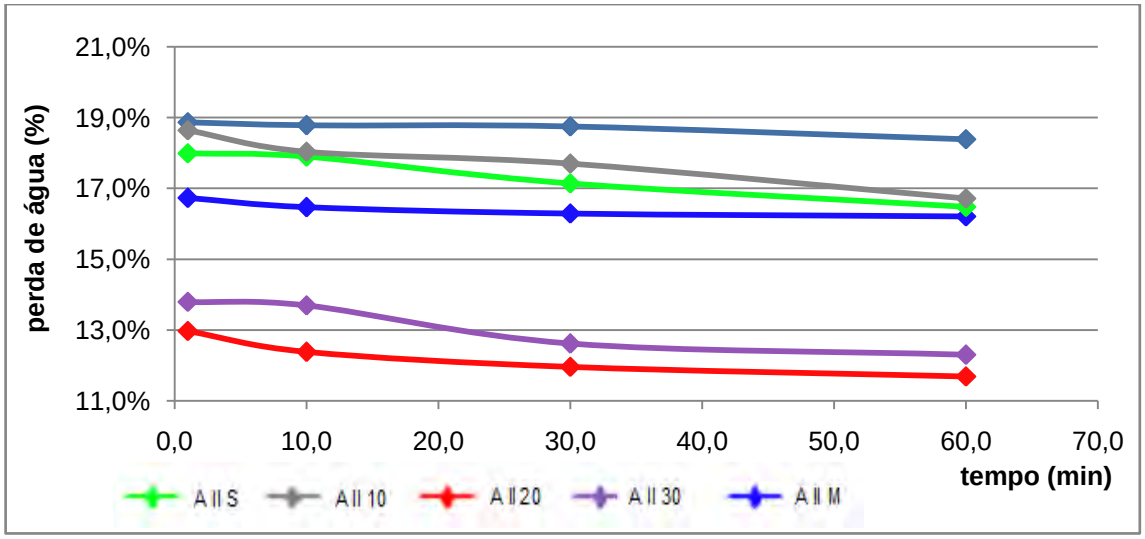


Figura 4.24 - Perda de água para o substrato na segunda camada (intermediária).

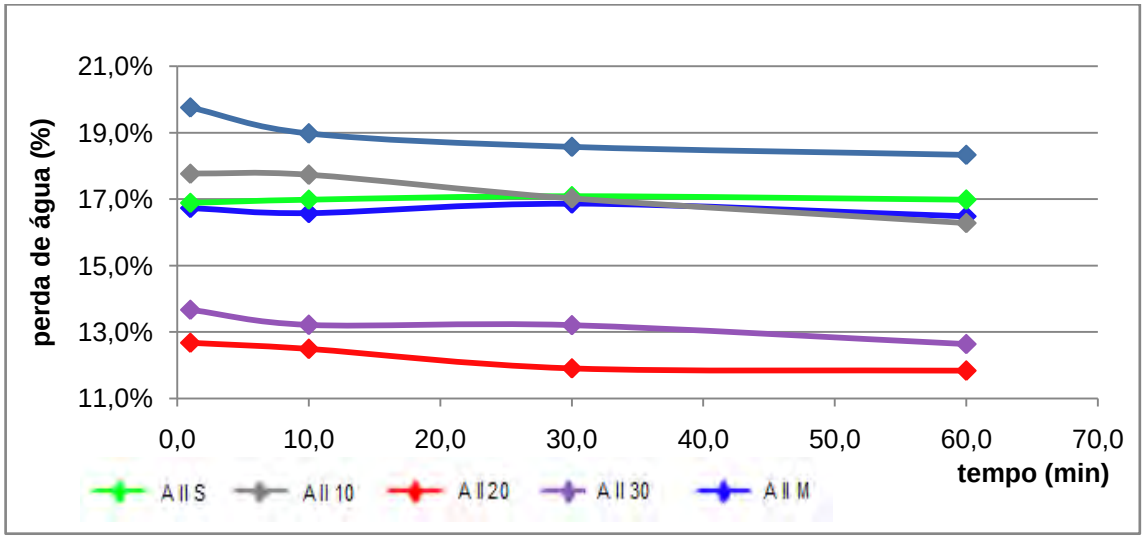


Figura 4.25 - Perda de água para o substrato na terceira camada (superfície).

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. CONCLUSÕES

Baseado nos resultados do programa experimental, válidos em principio, para os materiais e condições desta pesquisa, podemos concluir que:

- A forma do grão de areia, sua distribuição granulométrica, teor de material fino e seu índice de impurezas orgânicas, interferem diretamente na incorporação de ar;
- Cada tipo de aditivo incorporador de ar reage de forma diferente com os mesmos materiais e é possível incorporarem ar em argamassas utilizando sabão ou detergente;
- A finura do cimento e sua composição química exercem influência na incorporação de ar;
- O tipo de substrato exerce influência na perda de água e, conseqüentemente, na aderência das argamassas.

Após análise da variação do teor de ar, mantendo como condições fixas o substrato, conclui-se que existe um teor de ar ótimo segundo o qual se consegue os melhores resultados nos estado fresco e endurecido. Para os materiais e condições desta pesquisa este teor é de 22%.

O acabamento desempenado apresenta ganhos consideráveis de resistência de aderência à tração, bem como resistência ao desgaste pelo corte quando comparado com o mesmo revestimento apenas sarrafeado. Além da resistência, este tipo de acabamento reduz o consumo de argamassa colante ou, no caso de superfícies que receberão pintura, fazê-lo bem "queimado", reduz o consumo de massa corrida, além do ganho de resistência superficial.

A diminuição da tensão superficial pelo aditivo faz com que a argamassa aditivada perca água para o substrato de forma mais lenta reduzindo a pressão capilar, além das bolhas de ar obturarem estes capilares, desconectando-os, impedindo ou reduzindo o fluxo de água,

tornando estas argamassas mais impermeáveis, conforme constatado nos ensaios de absorção capilar e absorção pelo método do cachimbo.

5.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS DE ENSAIO

Baseado na grande variabilidade de resultados do teor de ar nas argamassas de pesquisas anteriores, Carasek (1996), Calhau (2000) e Alves (2002) comparam o método gravimétrico com pressométrico, encontrando grandes variações no teor de ar.

Neste trabalho, procurou-se dar a máxima atenção na determinação das massas específicas dos materiais constituintes das argamassas, a fim de se obter valores mais próximos. Assim, as massas específicas dos aglomerados foram obtidas através da ABNT: NBR NM 23 2000 com três determinações observando-se os erros permitidos.

Neste trabalho conseguiu-se aproximar os resultados do método gravimétrico com o pressométrico. Este fato é atribuído à padronização do adensamento e das moldagens na mesa de *flow* e também ao rigor na determinação das massas específicas dos materiais para o calculo do teor de ar pelo método gravimétrico.

Optou-se por adotar o método gravimétrico para as comparações por não sofrer problemas de calibração no manômetro, o que induz a erros além dos entupimentos e vazamentos do método pressométrico.

A massa unitária dos materiais anidros foi determinada segundo a ABNT: NBR 7251 1982 – Agregado em estado solto, determinação da massa unitária. Segundo Cincotto e Pereira (1999), este método é inadequado por sofrer interferências do operador. Trata-se de uma determinação de grande importância por interferir diretamente no consumo de cimento dos proporcionamentos de argamassa. É utilizada na conversão de massa para o volume, alterando diretamente o consumo de materiais das dosagens de argamassa.

A referida norma encontra-se cancelada e substituída pela ABNT: NM 45 2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. A principal mudança é substituição do recipiente paralelipédico de 15 dm^3 pelo cilíndrico de 10 dm^3.

Esta recomendação da referida norma vai contra a literatura clássica, que condena o uso do recipiente cilíndrico em virtude da extrema variação dos resultados obtidos. Segundo Petrucci (1978), este recipiente não deve ser cilíndrico e deve ter volume igual ou superior a 15 dm^3.

Outra não conformidade é a ABNT: NBR 6467 2006 – Agregado – determinação de inchamento de agregado miúdo – método de ensaio. Este norma possui versão corrigida do ano de 2009, a qual utiliza o recipiente paralelipédico de 15 dm^3. De acordo com Petrucci (1978), o volume e a forma do recipiente interferem no resultado, então não podemos determinar a massa unitária com um recipiente e o coeficiente de inchamento com outro.

O ensaio de tração por compressão diametral aproxima-se muito dos resultados de resistência de aderência por ambos estarem medindo a mesma coisa, contrario aos resultados obtidos no ensaio de flexão. Quando o objetivo for controle de qualidade da argamassa sem a preocupação com a interface argamassa/substrato o ensaio de compressão diametral pode ser utilizado por ser mais rápido e mais barato que o ensaio de resistência de aderência, apresentando, inclusive, menos variabilidade.

5.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS APLICAÇÕES PRÁTICAS

Como toda a pesquisa foi realizada em ambiente de laboratório, sugere-se então que sejam desenvolvidas investigações aplicadas dos estudos em obra a fim de dar contribuição ao desenvolvimento de argamassas otimizadas a partir das conclusões deste trabalho:

- Avaliar o teor de ar remanescente no revestimento aplicado comparado com o mesmo teor do estado fresco avaliando inclusive a sensibilidade dos aditivos à mistura e as condições de campo;
- Estudar o rendimento das argamassas aditivadas com IAR aplicadas em obras;
- Investigar o percentual de redução de custo e os ganhos de produtividade das argamassas aditivadas com IAR quando comparadas com argamassas convencionais através de investigações em obra variando inclusive o tipo de confecção da argamassa industrializada *versus* virada em obra, e o tipo de aplicação manual *versus* mecanizada;
- Avaliar o ganho de desempenar os fundos para revestimentos cerâmicos no aspecto de resistência e economia de argamassa colante.

5.4 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Os efeitos do ar incorporado em argamassas e revestimentos é um assunto complexo que sofre influência de variáveis diversas. Então, neste trabalho, não se teve a pretensão de esgotar o assunto, mas somente apresentar uma contribuição ao estudo. Para prosseguimento do trabalho, visando ampliar a fronteira do conhecimento, sugerimos para pesquisas futuras:

- Avaliar a distribuição granulométrica, o índice de vazios dos agregados, bem como a forma dos grãos e sua influência direta na incorporação de ar;
- Comparar a influência do teor de ar incorporado na capacidade de deformação das argamassas correlacionando os vários métodos de determinação do módulo de elasticidade das argamassas: módulo estático, módulo dinâmico e o módulo de corda obtido no ensaio de flexão;
- Realizar o ensaio de perda de água para o substrato em uma balança com precisão de 0,001g em redoma de vidro com energia estabilizada, visando melhores resultados;
- Avaliação da durabilidade através de ensaios de envelhecimento acelerado das argamassas com aditivo IAR quando comparadas com argamassas de cal;
- Avaliação da retração das argamassas com IAR quando comparadas com argamassas de cal;
- Avaliação microscópica das argamassas com IAR, com foco na dimensão das bolhas de ar, quantidade de bolhas por m³, distância das bolhas, avaliação das interfaces argamassa substrato, argamassa superfície sarrafeada *versus* desempenada.

CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFIA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **EB-1763**: Aditivos para concreto de cimento Portland - especificação. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT _____. **NBR 5734:** Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1988.

ABNT _____. **NBR 5743:** Cimento Portland – Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT _____. **NBR 5744:** Cimento Portland – Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT _____. **NBR 5745:** Cimento Portland – Determinação de anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT _____. **NBR 5747:** Cimento Portland Determinação do óxido de sódio e óxido de potássio por fotometria de chama. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT _____. **NBR 5748:** Análise química de Cimento Portland – Determinação de óxido de cálcio livre. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT _____. **NBR 6474:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT _____. **NBR 7173:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT _____. **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas - Especificação. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT _____. **NBR 7184:** Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT _____. **NBR 7200:** Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas: procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

ABNT _____. **NBR 7211:** Agregado para concreto. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT _____. **NBR 7215:** Ensaio de Cimento Portland – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT _____. **NBR 7216:** Amostragem de agregados. Rio de Janeiro, 1987.

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

ABNT _____. **NBR 7219:** Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT _____. **NBR 7220:** Agregados – Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT _____. **NBR 7222:** Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT _____. **NBR 7224:** Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da área específica. Rio de Janeiro, 1996.

ABNT _____. **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT _____. **NBR 7810:** Agregado em estado compactado a seco: determinação da massa unitária - Especificação. Rio de Janeiro, 1982.

ABNT _____. **NBR 8490:** Argamassas endurecidas para alvenaria estrutural – Retração por secagem. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT _____. **NBR 9290:** Cal hidratada para argamassas – Determinação da resistência à retenção de água. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT _____. **NBR 9776:** Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT _____. **NBR 9778**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

ABNT _____. **NBR 9779:** Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT _____. **NBR 11578:** Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT _____. **NBR 11579:** Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75µm (nº 200). Rio de Janeiro, 1991.

ABNT _____. **NBR 11581:** Cimento Portland – Determinação dos tempos de pega. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT _____. **NBR 11582:** Cimento Portland – Determinação da expansibilidade de Le Chatelier. Rio de Janeiro, 1991.

ABNT _____. **NBR 11768:** Aditivos para concreto de cimento Portland: EB-1763. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT _____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT _____. **NBR 13277:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro, 2007.

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

ABNT _____. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2005..

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

ABNT _____. **NBR 13281:** Argamassa industrializada para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Especificação. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT _____. **NBR 13528:** Revestimento de paredes e tetos em argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT _____. **NBR 13529:** Revestimento de paredes e tetos em argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT _____. **NBR 13749:** Revestimento de paredes e tetos em argamassas inorgânicas – Especificação. Rio de Janeiro, 1995.

ALVES, N. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassas de revestimento**. 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade de Brasília, 2002.

ALVES, N. J. D; BAUER, E. Argamassas de revestimento. **Relatório Técnico**. Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, Junho, 2001.

ALVES, N. J. D; SALES, M. J. A. Aditivos para argamassas. **Relatório Técnico**. Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, Junho, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 67 – 92a. Standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile**. Philadelphy, 1992.

ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. & PILEGGI, R. G. **Influência da sequencia de mistura nas propriedades reológicas de argamassas avaliadas por *squeeze-flow*.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Florianópolis, 2005.

ARAÚJO, F. E. **Técnicas construtivas de edifícios residenciais em alvenaria estrutural não-armada de blocos vazados de concreto**. 1998. 194f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

ARAUJO, L. O. C & SOUZA, U. E. L. **A produtividade da mão-de-obra na execução de revestimentos de argamassa.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, pp. 727-739. Vitória: UFES, 1999.

ARAUJO, M. J. S. **Influência do teor de aditivos aerantes nas propriedades das Argamassas Fluidas à base de cimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

AUSTIN, S. A; ROBINS, P. J &GOODIER, C. I. The rheological performance of wet-process sprayed mortars. **Magazine of concrete research**, v. 51, n. 5, pp 341 – 352, outubro, 1999.

BASTOS, P. K. X. **Retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas de revestimento**. 2001. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BAUER, E. Análise da adequabilidade do emprego de diferentes areias para argamassas de revestimentos. **Relatório Técnico**. Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 1996.

BAUER, E. Argamassas industrializadas. **Relatório Técnico**. Laboratório de Ensaio de Materiais**,** Universidade de Brasília, Brasília, Junho, 2001.

BAUER, E. Dosagem de argamassas. **Relatório Técnico**. Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, Junho, 2000.

BAUER, E. Estudo dos aditivos para argamassas de revestimento. **Relatório Técnico**. Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, Agosto, 2001.

BAUER, E. **Resistência à penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos - Uma análise de desempenho**. 1987. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

BAUER, E.;&CARASEK, H. Argamassas de revestimento, **1º Curso de Tecnologia das Construções**, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Outubro, 1997.

BAUER, E.; ROCHA, A.; &COSTA, R. Geração de parâmetros de referência para controle de recebimento de agregados para argamassa de revestimento. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 2°, 1997, Salvador, 17 e 18 de abril de 1997. Anais. Salvador, CEPED/UFBA/UCSAL/UEFS, 1997. p.87 – 96.

BENINGFIELD, N. Air entrainment of mortar. **In 8th International Brick/Block Masonry Conference Ireland,** UK, 1988a. p.118-130.

BENINGFIELD, N. Air entrainment of mortar. **In: 8 th IBIMAC (International Brick and Block Masonry Conference)**. Dublin, 1988. v.1.

BENINGFIELD, N. **The air entrainment of mortar.** A bibliography. In 8th International Brick/Block Masonry Conference Ireland, UK, 1988b. P. 131-138.

BOYNTON, R. S.; GUTSCHICK, K. A. **Aderência de argamassas a elementos de alvenaria** – Fatores que influenciam a resistência, extensão e durabilidade da aderência. Tradução IPT-ABCP, Notas técnicas n. 3, 1964.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Mortar admixtures** - Specification for air-entraining (plasticizing) admixtures. BS 4887. 1996.

BUCHER, H. R. E;& MULLER, M. S. K. **Argamassas industrializadas para revestimento de superfícies e assentamento de alvenaria**. CB – 18, argamassas industrializadas usos e desempenho, São Paulo, Dezembro, 1993.

CALHAU, E. L. **Argamassa de revestimento com aditivo incorporador de ar: propriedades e recomendações**. 2000. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

CALHAU, E. L.; SPAGNOL, L. C; &TINTI, M. M. Influência da relação cal/cimento no custo das argamassas mistas de revestimento. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 3°, 1999, Vitória, 22 e 23 de abril de 1999. Anais. Vitória, UFES/PPGEC, 1999. p.171-182.

CALHAU, E. L.; & TRISTÃO, F. A.. Influência do teor de ar incorporado nas propriedades das argamassas mistas de revestimento. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 3°, 1999, Vitória, 22 e 23 de abril de 1999. Anais. Vitória, UFES/PPGEC, 1999. p.219-230.

CANDIA, M. C. **Contribuição ao Estudo das técnicas de preparo da base no desempenho dos revestimentos de argamassa**. 1998.198 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** Vol. 1, 6ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

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

CARASEK, H. Argamassas. In: G. J. Isaia (ed) **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. pp. 863-904, vol. 2. São Paulo: IBRACON, 2007.

CARASEK, H. Fatores que exercem influência na resistência de aderência de argamassas. **In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**, 17 e 18 de abril, 1997, Salvador – BA. Anais. pp. 133-146.

CARASEK, H.; DJANIKIAN. Avaliação da trabalhabilidade para argamassas de assentamento e revestimento. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO**, 3., São Paulo, 1993, Anais. São Paulo, ABCP, 1993. p. 407-426.

CARASEK, H.; &SCARTEZINI, L. M. B. Evolução da resistência de aderência dos revestimentos de argamassa mista. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 3°, 1999, Vitória, 22 e 23 de abril de 1999. Anais. Vitória, UFES/PPGEC, 1999. p.503-515.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A. & JOHN, V. M. **A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassas.** In: Ambiente Construido, n. 2, pp. 37-44, 1997.

CASALI, J.; CALÇADA, L. M. L.; &PRUDÊNCIO JR., L. R. Metodologia alternativa para a avaliação da trabalhabilidade de argamassas de assentamento para alvenaria estrutural de bloco de concreto em obra e laboratório. **Anais do VII International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries**. Belo Horizonte, 2002.

CASALI, J.; OLIVEIRA, A. L.; SANTOS, S.; CALÇADA, L. M. L.; &PRUDÊNCIO JR., L. R. Avaliação da influência do processo de mistura na resistência à compressão de argamassas para assentamento de alvenaria

estrutural. **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. p. 435-443, Brasília, 2001.

CAVANI, G. R; ANTUNES, R. P. N;&JOHN, V. M. Influência do teor de ar incorporado na trabalhabilidade das argamassas mistas. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 2°, 1997, Salvador, 17 e 18 de abril de 1997. Anais. Salvador, CEPED/UFBA/UCSAL/UEFS, 1997. p.110-119.

CINCOTTO, M. A. Argamassas de revestimento: Características, propriedades, e métodos de ensaios. **Boletim 68 IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, São Paulo, 1995.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento**: análise e recomendações, Publicação 1801 - IPT, 2ª edição, São Paulo, 1989.

CINCOTTO, M. A. **Discussão dos métodos de determinação da massa unitária de areia para argamassas.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Vitória: UFES, 1999.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimento**: características, propriedades e métodos de ensaio. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1995.

COLLEPARDI, M. Aditivos. In: **Tecnologia de aditivos**, vol. I, p. 74-147, São Paulo: IPT, 1983.

COLLEPARDI, M. **Scienza e Tecnologia del Calcestruzzo**. Ed. Hoepli, Milão, 1980.

COMITE MERCOSUR DE NORMALIZACION. NM 47:95; **Concreto** – Determinação do teor de ar em concreto fresco – Método pressométrico. 1996.

CORREA, G. S. **Avaliação técnico-científica do emprego de adesivos poliméricos de base látex associados a sistemas de preparação de base**, Relatório final da disciplina de Estágio Supervisionado. Faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

CORTEZ, I. M. M. **Contribuição ao Estudo dos sistemas de revestimento com a incorporação de fibras sintéticas**. Brasília, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

COSTA, E. B. C. **Investigação do Método de Ensaio de Determinação da Resistência de Aderência de revestimento em Argamassa**. 2007. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

COUTINHO, A. S. **Fabrico e propriedades do betão**. v. 1, Laboratório nacional de engenharia civil, Lisboa, 1997.

DAFICO, D. A.; PEREIRA, B. S.; LIMA, E. C.; LOBO, G. A. & RESENDE, P. S. O. **Um Estudo visando o aumento do fator de eficiência de prismas de alvenaria por meio do controle do teor de ar incorporado na argamassa de assentamento.**

DAS, B. M. **Fundamentos de engenharia geotécnica.** São Paulo: Thomson Learning, 2007.

DERBY, B.; HILLS, D.; &RUIZ, C., **Materials for engineering**, first edition, UK, Longman Scientific & Technical, 1992, 300p.

DOLCH, W. L. **CONCRETE ADMIXTURES HANDBOOK: Properties, Science and Technology**. Edição: RAMACHANDRAN, V. S. New Jersey: Noyes Publications, 1984

FALCÃO BAUER, L. A.; AZEVEDO NORONHA, M. A.; &FALCÃO BAUER, R. J. Uso de aditivos no concreto. In: L. A. Falcão Bauer (coord.) **Materiais de Construção** 1, pp. 135- 185, 5.ª ed. rev, 2001.

FALCÃO BAUER, L. A.; &RAGO, F. Influência da variação do índice de consistência nas propriedades das argamassas industrializadas **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 3°, 1999, Vitória, 22 e 23 de abril de 1999. Anais. Vitória, UFES/PPGEC, 1999. p.85-94.

FIORI, A. P. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas.** Curitiba: Ed. UFPR, 2009.

FIORITO, A. **Manual de argamassas e revestimentos**: Estudos e procedimentos de execução. São Paulo, Pini, 1994.

GALEMBECK, F. Adesão de superfícies. **Revista Ciência Hoje**, v. 4, n° 19, julho/agosto de 1985.

GALLEGOS, H. Adhesión entre mortero y las unidades de albañilería. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 1º, Goiânia, 16 a 18 de agosto de 1995. Anais. Goiânia, UFG/ANTAC, 1995. p.117-133.

GODOY, E. H. P. de; &BARROS, M. M. S. B. Proposta de procedimento de ensaio para avaliação do módulo de deformação de argamassas. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 3°, 1999, Vitória, 22 e 23 de abril de 1999. Anais. Vitória, UFES/PPGEC, 1999. p.159-167.

GOMES, A. M; NERO, J. M. G; &APPLETON, J. A. S. Novo método para a avaliação da trabalhabilidade e consistência das argamassas. **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 1º, Goiânia, 16 a 18 de agosto de 1995. Anais. Goiânia, UFG/ANTAC, 1995. p.83-91.

GREEN, K. M; CARTER, M. A; HOFF, W. D; &WILSON, M. A. The effects of lime and admixtures on the water-retaining properties of cement mortars. **Cemente and concrete research**, v.29, July, 1999. p. 1743 – 1747.

GRZYBOWSKI, M.; SHAH, S. P. Shrinkage cracking of fiber reinforced concrete. **ACI Materials Journal**, v. 87, n. 2, pp. 138-148, March-April, 1990.

GUIMARÃES, J. E. P. **A cal** – Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil. 2ª ed. São Paulo: PINI, 2002,

HAN, K. M.; & KISHITANI, K. A study on the bond strength of brick mansory mortars. **Journal of the Faculty of Engineering** – The University of Tokyo, v. 37, n. 4, pp. 757-798, September, 1984.

HELENE, P. R. L.; & LEVY, S. M. Evolução histórica da utilização do concreto como material de construção. São Paulo: EPUSP, 2002.

ISAIA, G. C. Deformações do concreto em estruturas correntes. **2° Ciclo de palestras sobre tecnologia do concreto estrutural**, Porto Alegre, 7 e 8 de junho de 1984.

JASTRZEBSKI, Z. D. **The nature and properties of engineering materials, second edition,** USA, John Wiley & Sons, 1977, 633p.

JOHN, V. M; CARDOSO, F. A; & PILEGGI, R. G. Caracterização Reológica de Argamassas pelo Método de Squeeze-Flow. In: **VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa e I International Symposium on Mortars Technology.** p. 121- 143. Florianópolis, 2005.

JONH, V. M; RAGO, F; CINCOTTO, M. A. C; & PASSOS GUIMARÃES, J. E. Desempenho de argamassas de revestimento mistas e aditivadas – metodologia de avaliação. **In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES**, 5°, Florianópolis, 21 a 24 de agosto de 1994. Anais. Florianópolis, UFSC, 1994. p. 71 – 83.

JUNG, E. The binding between mortar and brick. In **8th International Brick/Block Masonry Conference Ireland**, UK, 1988. v.1. p. 182 – 193.

LA ROVERE, H. L. Análise do comportamento de prismas grauteados e não-grauteados de blocos de concreto. **Anais da XXVIII Jornadas Sulamericanas de Engenharia de Estrutural**, Vol 1, p. 179-188, São Carlos - SP, 1997.

LEA, F. M. The chemistry of cemente and concrete. **Chemical Publishing Company**, Inc., New York, 1971.

LEJEUNE, C. Revestimentos externos: a contribuição francesa, **Revista Téchne**, Ed. Pini, n. 22, pp. 30-34, Maio-Junho, 1996.

MACIEL, L. L. **O projeto e a tecnologia construtiva na produção dos revestimentos de argamassa de fachada**. São Paulo, 1997. 372 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

MARTIN, J. F. M. Aditivos para concreto. In: G. J. Isaia (ed) **Concreto**: Ensino, Pesquisa e Realizações. pp.381- 406, vol. 1. São Paulo: IBRACON, 2005.

MEHTA, P. K.; & MONTEIRO, P. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais, 3ª Edição, São Paulo, IBRACON, 2008, 674p.

MONTE, R.; UEMOTO, K.L.; & SELMO, S.M.S. Efeitos de aditivos incorporadores de ar nas propriedades de argamassas e revestimentos. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**, pp. 303-315. São Paulo: POLI-USP, 2003.

NAKAKURA, E. H., & CINCOTTO, M. A. Revisão de norma NBR 13581 como instrumento para melhor representar o desempenho de argamassas industrializadas em obra. **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. p. 387-394, Brasília, 2001

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. Trad. Salvador E. Giammusso. 2ª ed. ver. atual. – São Paulo: Pini, 1997.

OLIVEIRA A. L; CASALI, J. M; SANTOS, S; & PRUDÊNCIO JR, L. R. Metodologia para avaliação de trabalhabilidade de argamassas de assentamento de alvenaria. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS**, 4º, Brasília, 23 a 25 de maio de 2001. Anais. Brasília, UnB/ANTAC, 2001. p.159-169.

OLIVEIRA, J.A.C. **Contribuição ao Estudo do comportamento mecânico dos sistemas de revestimento à base de argamassa modificados com polímeros de base látex**. Brasília, 1999, Dissertação (mestrado). Universidade de Brasília – UnB.

PEÑA, M. DIAS; MUNTANER, A.R. **Química Física**. Madrid, Alhambra, 1978.

PERES, A. R. **Umidade nas edificações**, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1985, 272p.

PETRUCCI, E. G. R. Concreto de cimento Portland. 6ª ed. Porto Alegre: Globo, 1978.

POLISSENI, A. E. **Método para avaliar a capacidade de impermeabilizante de revestimento de paredes – Método do Cachimbo**. 1986. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

RAGO, F. **Características reológicas de pastas de cales hidratadas normalizadas e de cimento**. São Paulo, 1999. 206 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1999.

RAMACHANDRAN, V. M. **Concrete admixtures handbook**. Noyes Publications, New York, 1984.

RILEM - INTERNATIONAL UNION OF TESTING AND RESEARCH LABORATORIES FOR MATERIALS AND STRUCTURES -. **MR-3 The complex workability-consistence - plasticity**. France, 1982.

RILEM TECHNICAL COMMITTEE 49 TFR. "Testing methods for fibre reinforced cement-based composites", **Materials and Structures**, n. 102, pp. 441-456, November-December, 1984.

RILEM TECHNICAL COMMITTEE 49 TFR. PAILLERE, A. M.; BASSAT, M. B.; AKMAN, S. Guide for use of admixtures in concrete. **RILEM - 84AAC: Application of admixtures for concrete. Materials and Structure**, 1992, 25, 49-56.

RILEM TECHNICAL COMMITTEE 49 TFR.;CIB COMMISSION. **"Mortars and renderings: progress report".** RILEM Bulletin, New Series, n. 30, março, 1966.

RIXON, R.; MAILVAGANAM, N. **Chemical admixtures for concrete**, E & FN SPON, London, 1999.

ROMANO, R. C. O; SCHREURS, H; SILVA, F. B.; CARDOSO, F. A.; BARROS, M. M. S. B; JOHN, V. M. & PILEGGI, R. G. **Impactos do tipo de misturador e do tempo de mistura nas propriedades de argamassas industrializadas** (2009).

SABBATINI, F. H. **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária**. 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.

SAMMAN, T. A; MIRZA, W. H.; & WAFA, F. F. Plastic shrinkage cracking of normal and high-strength concrete: a comparative study. **ACI Materials Journal**, v. 93, n. 1, pp. 36-40, January-February, 1996.

SANTOS, F. I. G; ROCHA, J. C. & CHERIAF, M. Influência da cinza pesada empregada em substituição ao agregado natural nos mecanismos de transferência de umidade em argamassas. **Revista Matéria (UFRJ)**, v. 12, n. 2, PP. 253-268, 2007.

SARAIVA, A. G. **Contribuição ao Estudo de tensões de natureza térmica em sistemas de revestimento cerâmico de fachada**. 1998. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

SCARTEZINI, L.M.B. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: Estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água de argamassa fresca**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

SELMO, S. M. S. **Dosagem de argamassas de cimento Portland e cal para revestimento externo de fachada de edifícios**, 1989. 227 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo 1989.

SELMO, S. M. S.; MONTE, R.; & UEMOTO, K. L. Efeitos de aditivos em argamassa de as nas propriedades de argamassas e revestimento. In: **V Simpósio Brasileiro de Tecnologia Argamassas.** p. 303- 315. São Paulo, 2003.

SELMO, S. M. S.; NAKAKURA, E. H.; MIRANDA, L. F. R.; MEDEIROS, M. H. F.; & SILVA, C. O. **Boletim Técnico 310.** Propriedades e especificações de argamassas industrializadas de múltiplo uso. São Paulo, PCC.USP, 2002.

SILVA, C. O. & NAKAKURA, E. H. **A utilização de argamassa de revestimento em obras de pequeno porte – avaliação de Estudo de caso de argamassa preparada em obra x argamassa industrializada.**

SILVA, N. G.; COLLODETTI, G.; PICHETTI, D. Z. C. M. & GLEIZE, P. J. P. Efeitos do ar incorporado nas propriedades do estado endurecido em argamassas de cimento e areira. In: **Anais do 51° Congresso Brasileiro do Concreto**, IBRACON: 2009.

SHAW, D. J. **Introdução à química dos colóides e de superfícies**. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. Da Universidade de São Paulo, 1975.

SOBRAL, H, S. **Reologia e trabalhabilidade dos concretos**. Estudo técnico, ABCP, São Paulo, 1990.

SOROUSHIAN, P.; & RAVANBAKHSH, S. Control of plastic shrinkage cracking with specialty cellulose fibers. **ACI Materials Journal**, v. 95, n. 4, pp. 429-435, July-August, 1998.

STEIL, R. O., CALÇADA, L. M. L.; MARTINS, V. C., & PRUDÊNCIO JR., L. R. Influência do tipo de argamassa no fator de eficiência e na deformabilidade de alvenarias estruturais de blocos de concreto. **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. p. 423-434, Brasília, 2001.

TAYLOR, H. W. F. **Cement chemistry**. Academic Press Inc, San Diego, 1992.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios:** causas, prevenção e recuperação, São Paulo, PINI/EPUSP/IPT, 1989, 194p.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento.** 1995. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

YOSHIDA, A. T., & BARROS, M. M. S. B. Caracterização de argamassas no estado fresco: peculiaridades na análise de argamassas industrializadas. **Anais do I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas**. p. 53-62, Goiânia, 1995.

Apêndice – Resultados Experimentais

resultados mestrado.xlsx

Planilha Aderência 11-10.docx

Anexo – Caracterização dos materiais (fornecidos pelos fabricantes)

anexos\70mset-cal.pdf

anexos\ANÁLISE LABORATORIAL SIKA AER[1].pdf

anexos\CH-I_MAIO-10[1].doc

anexos\Laudos Cimento_expedido_CPIV_ENSACADO_MENSAL março 06-04-2010(1).xls

anexos\MICRO AIR AS883-E.pdf

anexos\MICRO AIR EC.pdf

anexos\mset_cal.pdf

anexos\produtos_04_11_2009__12_20_24__4169.pdf

anexos\produtos_15_07_2009__14_50_49__7783.pdf

anexos\Segue análise do Cimento CPIIF.doc

anexos\sika-aer.pdf