

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA FISSURAÇÃO, DA  
RETRAÇÃO E DO MECANISMO DE DESCOLAMENTO DO  
REVESTIMENTO À BASE DE ARGAMASSA**

*CLAUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA PEREIRA*

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA FISSURAÇÃO, DA  
RETRAÇÃO E DO MECANISMO DE DESCOLAMENTO DO  
REVESTIMENTO À BASE DE ARGAMASSA**

**CLAUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA PEREIRA**

**ORIENTADOR: ELTON BAUER**

**TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.TD – 006 A/07  
BRASÍLIA/DF: 19 DEZEMBRO – 2007**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA FISSURAÇÃO, DA  
RETRAÇÃO E DO MECANISMO DE DESCOLAMENTO DO  
REVESTIMENTO À BASE DE ARGAMASSA**

**CLAUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA PEREIRA**

**TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE  
DOUTOR EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Elton Bauer, DSc. (ENC-UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. Antônio Alberto Nepomuceno, Dr. Ing. (ENC-UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. Luciano Mendes Bezerra, DSc. (ENC-UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Neusa Maria Bezerra Mota, DSc. (ENC-UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Janaíde Cavalcante Rocha, DSc. (UFSC)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 19 DE DEZEMBRO DE 2007**



## FICHA CATALOGRÁFICA

PEREIRA, CLAUDIO HENRIQUE DE ALMEIDA FEITOSA

Contribuição ao Estudo da Fissuração, da Retração e do Mecanismo de Descolamento do Revestimento à Base de Argamassa [Distrito Federal] 2007.

xxi, 195p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Estruturas e Construção Civil, 2007).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Sistema de Revestimento

2. Argamassa

3. Retração

4. Fissuração e Descolamento

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PEREIRA, C.H.A.F. (2007). Contribuição ao Estudo da Fissuração, da Retração e do Mecanismo de Descolamento do Revestimento à Base de Argamassa. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação: E.TD – 006 A/07, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 195p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Claudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira.

TÍTULO: Contribuição ao Estudo da Fissuração, da Retração e do Mecanismo de Descolamento do Revestimento à Base de Argamassa.

GRAU: Doutor

ANO: 2007

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Claudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira  
Av. Rui Barbosa, nº 1292, Morro Branco.  
CEP 59.075-300, Natal/RN – Brasil.  
e-mail: [claudiochp@gmail.com](mailto:claudiochp@gmail.com)

## AGRADECIMENTOS

Ao fim desta etapa de realizações, cabe ressaltar quem ficou presente nos espaços deixado em branco desses papeis e nos preenchidos do meu coração. São pessoas que além de tudo, possuem alma e coração, representados, muitas vezes, com gestos e palavras, a elas direciono o meu agradecimento. Além delas, não posso deixar de agradecer aos organismos acadêmicos e empresariais que, direta ou indiretamente, possibilitaram a concretização desta pesquisa.

Inicio agradecendo ao meu orientador, Prof. Dr. Elton Bauer, por ter me dado a oportunidade de fazer parte de seu grupo, de ter dedicando parte de seu tempo, compartilhando o seu conhecimento e mostrando que os obstáculos vão sempre surgir, mas o que importa é conhecê-los e superá-los, aproveitando o aprendizado como lição para a vida;

Agradeço à UnB e ao Programa de pós Graduação em Estrutura e Construção Civil da UnB (PECC) por essa oportunidade ímpar, e aos seus professores, que me apoiaram no decorrer deste trabalho, transmitindo ensinamentos fundamentais para a minha formação acadêmica;

Ao CNPq, pelo suporte financeiro em forma de bolsa de estudo;

Aos meus amigos, Severino e Xavier, que também são os técnicos do Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM/UnB), pela mãozinha na hora de pegar no pesado, auxílio inestimável no desenvolvimento do trabalho, além do incentivo para a sua conclusão;

Aos meus colegas de curso, que mostraram que eu faço parte dessa imensa família. Quero que saibam que todos vocês passaram a fazem parte da minha também;

A minha Doce e Amada Família pelas orações, incentivo, ajuda e compreensão em todas as fases desta jornada. A vocês, minha sincera gratidão;

Aos meus pais, Levy e Méssia, e ao meu irmão, Joaquim, cujas palavras e “pensamentos” jamais serão suficientemente fortes para expressar todo amor, orgulho e gratidão que sinto de vocês.

A minha *pequeninha família*, mas que tem um enorme coração!  
Meu Filhão, Henrique... Meu Amor, Keilinha... *sem palavras...*

E, principalmente a DEUS, que com certeza esteve presente em cada segundo, aqui, juntinho, estudando, realizando ensaios, me dando forças para continuar em frente, em fim, iluminando a minha vida.

*A Deus, sobre todas as coisas,  
ao meu filho, Henrique, e a minha amada esposa, Keila,  
aos meus pais, Levy e Méssia, e meu irmão, Joaquim,  
pelo amor incondicional e incentivo.*

"Que eu tenha serenidade para aceitar  
as coisas que não posso modificar,  
coragem para modificar as que posso e  
sabedoria para perceber a diferença."

*(Oração da Serenidade)*

## RESUMO

### CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DA FISSURAÇÃO, DA RETRAÇÃO E DO MECANISMO DE DESCOLAMENTO DO REVESTIMENTO À BASE DE ARGAMASSA

**Autor: Claudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira**

**Orientador: Elton Bauer**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (UnB)**

**Brasília, dezembro de 2007**

Esta pesquisa discute a movimentação do revestimento à base de argamassa e a sua influência na fissuração e no descolamento do revestimento em argamassa aplicado sobre substrato de concreto. Para embasar essa discussão, foram realizadas avaliações experimentais com objetivo de analisar aspectos relacionados à interação de diferentes tipos de argamassas com substratos de concreto sem chapisco, com chapisco industrializado e convencional, sob a interferência do meio a que foram expostas (condições severa e amena de exposição), criando um modelo comportamental para essas relações.

As argamassas mistas e industrializada utilizadas neste trabalho foram avaliadas para se obter a caracterização dos seus comportamentos no estado fresco e endurecido. Já como revestimento, essas argamassas passaram por ensaios para obtenção dos perfis de perda de água por evaporação e por absorção pelo substrato, além de determinações para obtenção das movimentações de água interna e superficial.

Como resultados desta pesquisa, foram constatados que as variações do tipo e da composição da argamassa exerceram pouca influência no comportamento do revestimento quanto à movimentação, e que a variação nas espessuras do revestimento ocasionou maior movimentação superficial. Constatou-se também que a natureza do substrato, assim como a condição de exposição, tiveram papéis fundamentais no surgimento do descolamento e fissuras. Nesse sentido, observou-se que os revestimentos aplicados sobre substrato de concreto sem chapisco submetidos à condição severa de exposição apresentaram, em todos os ensaios realizados nesta pesquisa, descolamento e fissuras, e que somente o revestimento de argamassa mista com elevado teor de água apresentou fissuras, sem descolamento. E, ainda, comprovou-se que a ausência do chapisco e a condição de exposição crítica ocasionaram menores valores de aderência. Através desses resultados propôs-se um modelo comportamental mostrando como a retração do revestimento pode causar o descolamento e/ou a fissuração da argamassa.

## **ABSTRACT**

### **CONTRIBUTION TO THE STUDY OF CRACKING, SHRINKAGE AND DETACHMENT MECHANISM OF THE RENDERING MORTAR**

**Author: Claudio Henrique de Almeida Feitosa Pereira**

**Supervisor: Elton Bauer**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (UnB)**

**Brasília, december of 2007**

This work approaches the movement of the mortar renders and its influence in the crack and the detachment of the mortar render applied on a substrate of concrete. To base this discussion, experimental evaluations with objective had been carried through to analyze aspects related to the interaction of different types of mortar with substrate of concrete without base preparation, with industrialized and conventional, under the interference of the way the one that had been displayed (conditions of exposition), creating a behavioral model for these relations.

Mortar mixing and industrialized used in this work had been evaluated to get the characterization of its behaviors in the fresh and hardened state. Already as rendering, these mortars had passed for essays for attainment of the profiles of loss of water for evaporation and absorption for the substratum, beyond determination for attainment of the internal and superficial water movements.

As result of this work, which was evidenced variations of the type and the composition of the mortar had exerted little influence in the behavior of the render how much the movement, and that the variation in the thicknesses on mortar rendering caused to greater superficial movement. One also evidenced that the type of substrate, as well as the exposition condition, had basic papers in the sprouting of the detachment and fissures. In this direction, it was observed that the mortar renderings applied on concrete substrate without preparation of base submitted the severe condition of exposition had presented, in all essays carried through in this work, detachment and fissures, and that the mixing mortar with raised water text only presented cracks and detachment. And still, proved that the absence of the slurry mortar and the condition of critical exposition had caused to minors values of tensile bond strength. Through these results it was suggested a behavioral model showing how the retraction of the render mortar can cause the detachment and/or the cracking.

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| RESUMO .....   | vii       |
| ABSTRACT .....   | viii      |
| LISTA DE TABELAS .....   | xi        |
| LISTA DE FIGURAS .....   | xiii      |
| LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES .....  | xix       |
| <b>1 - INTRODUÇÃO .....</b>  | <b>1</b>  |
| 1.1 - IMPORTÂNCIA DO TEMA E JUSTIFICATIVA .....  | 1         |
| 1.2 - OBJETIVOS .....  | 7         |
| 1.3 - ESTRUTURAÇÃO DA TESE .....   | 8         |
| <b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - ARGAMASSA.....</b>  | <b>9</b>  |
| 2.1 - INTRODUÇÃO .....   | 9         |
| 2.2 - REVESTIMENTO EM ARGAMASSA .....  | 9         |
| 2.3 - MECANISMOS DE TRANSPORTE E FIXAÇÃO DE UMIDADE.....   | 13        |
| 2.3.1 - Transporte de água pela teoria de poros não saturados .....                                | 21        |
| 2.4 - SECAGEM.....   | 22        |
| 2.4.1 - Concentração de água .....   | 23        |
| 2.5 - PERDA DE ÁGUA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO .....   | 24        |
| 2.5.1 - Evaporação .....   | 25        |
| 2.5.2 - Sucção do substrato .....  | 30        |
| 2.5.3 - Ação conjunta evaporação e sucção.....   | 34        |
| 2.6 - FENÔMENOS DE RETRAÇÃO .....  | 36        |
| 2.6.1 - Variações dimensionais causada pela movimentação higroscópica .....                        | 37        |
| 2.6.2 - Efeito da retração no revestimento.....  | 39        |
| <b>3 - PROGRAMA EXPERIMENTAL, MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>   | <b>43</b> |
| 3.1 - PROGRAMA PILOTO – RETRAÇÃO DO REVESTIMENTO .....   | 43        |
| 3.1.1 - Definição do corpo-de-prova .....  | 44        |
| 3.2 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL .....   | 51        |
| 3.3 - CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS EMPREGADAS NO SISTEMA DE<br>REVESTIMENTO .....                 | 53        |
| 3.3.1 - Argamassa industrializada.....   | 53        |
| 3.3.2 - Argamassas mistas .....  | 55        |
| 3.3.3 - Ensaio de caracterização das argamassas de revestimento.....                               | 65        |
| 3.3.4 - Produção das argamassas, no decorrer da pesquisa .....                                     | 75        |
| 3.4 - ACOMPANHAMENTO DA MOVIMENTAÇÃO SUPERFICIAL DO<br>REVESTIMENTO .....                          | 75        |
| 3.4.1 - Corpos-de-prova para o acompanhamento da movimentação superficial do<br>revestimento ..... | 76        |
| 3.4.2 - Determinação da movimentação superficial do revestimento.....                              | 86        |
| 3.4.3 - Acompanhamento da fissuração do revestimento .....   | 87        |
| 3.4.4 - Acompanhamento do descolamento do revestimento.....  | 88        |
| 3.5 - ENSAIOS COMPLEMENTARES .....   | 88        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.5.1 - Determinação da resistência de aderência à tração do revestimento .....                                | 88         |
| 3.5.2 - Caracterização da microestrutura porosa do revestimento.....   | 89         |
| 3.5.3 - Avaliação da perda de água das argamassas de revestimento.....   | 90         |
| 3.6 - ACOMPANHAMENTO DA MOVIMENTAÇÃO INTERNA DO REVESTIMENTO .....   | 96         |
| <b>4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>   | <b>101</b> |
| 4.1.1 - Resultados da caracterização das argamassas .....  | 101        |
| 4.2 - RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS .....  | 104        |
| 4.3 - DETERMINAÇÃO DA PERDA DE ÁGUA DAS ARGAMASSAS.....  | 106        |
| 4.3.1 - Resultados da determinação da perda de água das argamassas por evaporação....                          | 106        |
| 4.3.2 - Resultados da determinação da perda de água das argamassas por absorção e evaporação.....              | 108        |
| 4.4 - RESULTADOS DA RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS .....  | 112        |
| 4.4.1 - Resultados do ensaio para acompanhamento da retração livre das argamassas ....                         | 112        |
| 4.4.2 - Resultados do acompanhamento da movimentação do revestimento devido à perda de água da argamassa ..... | 115        |
| 4.4.3 - Resultados do ensaio de acompanhamento da movimentação superficial do revestimento .....               | 116        |
| 4.4.4 - Ocorrência de descolamento e fissuração .....  | 132        |
| 4.4.5 - Resultado do acompanhamento da movimentação interna do revestimento.....                               | 134        |
| 4.5 - RESULTADOS DO ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA A TRAÇÃO DO REVESTIMENTO .....        | 137        |
| 4.6 - RESULTADOS DA POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO .....  | 139        |
| 4.7 - AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS .....   | 142        |
| 4.8 - PROPOSTA DE UM MODELO PARA RETRAÇÃO, FISSURAS E DESCOLAMENTO DO REVESTIMENTO .....                       | 145        |
| 4.8.1 - Ocorrência de descolamentos:.....  | 147        |
| 4.8.2 - Ocorrência de fissuras .....   | 151        |
| 4.8.3 - Ocorrência de descolamentos e de fissuras.....   | 153        |
| 4.8.4 - Ocorrência de fissuras e de descolamentos.....   | 154        |
| <b>5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....</b>  | <b>155</b> |
| 5.1 - CONCLUSÕES.....  | 155        |
| 5.1.1 - Quanto aos objetivos propostos .....   | 155        |
| 5.1.2 - Quanto aos resultados obtidos.....   | 156        |
| 5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....  | 159        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>  | <b>161</b> |
| APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DO CHAPISCO INDUSTRIALIZADO .....  | 171        |
| APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DA AREIA USADA NA PREPARAÇÃO DO CHAPISCO CONVENCIONAL.....                         | 172        |
| APÊNDICE C – TABELAS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS – ANBT NBR 13281:2005 .....                             | 173        |
| APÊNDICE D – RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS....   | 175        |
| APÊNDICE E – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS EM ARGAMASSA.....              | 177        |
| APÊNDICE F - RESULTADOS DO ENSAIO DE ACOMPANHAMENTO DA MOVIMENTAÇÃO SUPERFICIAL .....                          | 185        |



## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 2.1 – Espessuras admissíveis para o revestimento de argamassas (ABNT NBR 13749:1996). .....   | 11  |
| Tabela 2.2 – Espessuras mínimas nos pontos críticos do revestimento de argamassas (Baía e Sabbatini, 2004). .....                          | 12  |
| Tabela 2.3 – Propriedades higrotérmicas de alguns compósitos à base de cimento (adaptada de BRE, 1979). .....                              | 38  |
| Tabela 3.1 – Características do concreto. ....   | 46  |
| Tabela 3.2 - Caracterização física da argamassa industrializada empregada. ....  | 53  |
| Tabela 3.3 - Distribuição granulométrica da argamassa industrializada empregada. ....  | 54  |
| Tabela 3.4 - Caracterização físico-mecânica do cimento Portland CP II-Z-32 RS. ....  | 56  |
| Tabela 3.5 - Composição química do cimento Portland CP II-Z-32. ....   | 57  |
| Tabela 3.6 – Resultados dos ensaios de caracterização e limites da ABNT NBR 7175:2003 - Cal hidratada para argamassas: Especificação. .... | 58  |
| Tabela 3.7 – Resultados da análise química e limites especificados pela ABNT NBR 7175:2003 .....   | 59  |
| Tabela 3.8 - Distribuição granulométrica do agregado empregado na execução da argamassa de revestimento. ....                              | 61  |
| Tabela 3.9 - Caracterização física da areia empregada nas argamassas mistas. ....  | 62  |
| Tabela 3.10 - Resultados das composições das argamassas obtidas no estudo de dosagem. ....   | 64  |
| Tabela 3.11 - Resultado das composição da argamassa E6H. ....  | 64  |
| Tabela 3.12 – Dimensões dos corpos-de-prova revestidos com argamassa. ....   | 83  |
| Tabela 3.13 – Nomenclatura dos corpos-de-prova do acompanhamento da movimentação superficial do revestimento. ....                         | 85  |
| Tabela 3.14 – Nomenclatura dos corpos-de-prova do acompanhamento da movimentação interna do revestimento. ....                             | 97  |
| Tabela 4.1 – Resultados do ensaio de caracterização das argamassas no estado fresco. ..  | 101 |
| Tabela 4.2 – Resultados do ensaio de caracterização das argamassas no estado endurecido. ....  | 102 |
| Tabela 4.3 – Classificação das argamassas conforme a ABNT NBR 13281:2005. ....   | 103 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 4.4 – Resultados de absorção total de água e absortividade dos substratos. ....                             | 104 |
| Tabela 4.5 – Valores médios da resistência de aderência à tração das argamassas. ....                              | 138 |
| Tabela 4.6 – Resumo com os principais resultados e indicação de fissuras e descolamento das séries ensaiadas. .... | 143 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1.1 - Descolamento do revestimento em argamassa, em placas coesas, com ruptura na interface do chapisco com a estrutura de concreto (Bauer, 2002).....            | 4  |
| Figura 2.1 – Revestimentos em argamassa, empregados em fachadas, com grandes espessuras (Bauer, 2000).....   | 12 |
| Figura 2.2 – Representação esquemática de um poro sob processo de transporte de umidade (modificado de Andrade et al., 1999).....  | 14 |
| Figura 2.3 - Sucessão de modos de condensação em um poro isolado (Freitas 1992).....   | 18 |
| Figura 2.4 – Fenômeno da capilaridade (Freitas 1992).....  | 19 |
| Figura 2.5 – Transporte de água unidirecional em uma amostra de material poroso, conforme as condições (a), (b) e (c) (modificado de Hall, 1989).....                    | 20 |
| Figura 2.6 – Mapa com o zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT NBR 15220-3:2005).<br>.....   | 29 |
| Figura 3.1 – Fluxograma de apresentação geral das etapas de desenvolvimento da pesquisa.<br>.....  | 43 |
| Figura 3.2 – Substratos de concreto, 50 cm por 50 cm, para o ensaio de retração do revestimento. ....  | 46 |
| Figura 3.3 – Corpo-de-prova de 50 cm por 50 cm para acompanhamento da retração na superfície do revestimento, com uso de retratômetro analógico. ....                    | 47 |
| Figura 3.4 – Forma com substrato e papel filtro sobre a mesa vibratória antes de receber o revestimento. ....  | 48 |
| Figura 3.5 – Seção do corte do corpo-de-prova com papel filtro usado para o ensaio de retração do revestimento.....  | 49 |
| Figura 3.6 – Corpo-de-prova desenvolvido para o ensaio de retração do revestimento – desenho esquemático. ....   | 49 |
| Figura 3.7 – Forma usada para a confecção dos corpo-de-prova de 50 cm por 50 cm com bordas revestidas para acompanhamento da retração na superfície do revestimento..... | 50 |
| Figura 3.8 – Corpo-de-prova de 50 cm por 50 cm com bordas revestidas para acompanhamento da retração na superfície do revestimento. ....                                 | 51 |
| Figura 3.9 – Fluxograma de apresentação do programa experimental.....  | 52 |
| Figura 3.10 – Tipos de argamassas usadas na pesquisa. ....   | 53 |
| Figura 3.11 – Caracterização granulométrica da fração da argamassa passante na peneira com abertura de malha 150 µm por meio de granulômetro a laser. ....               | 54 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.12 – Granulômetro a laser do Laboratório de Geotecnia da UnB.....   | 55 |
| Figura 3.13 – Caracterização granulométrica do cimento por meio de granulômetro a laser.<br>.....  | 57 |
| Figura 3.14 – Caracterização granulométrica da cal por meio de granulômetro a laser. ....  | 60 |
| Figura 3.15 – Caracterização granulométrica da fração do agregado das argamassas mistas<br>passante na peneira com abertura de malha 150 µm por meio de granulômetro a laser. .... | 61 |
| Figura 3.16 – Fluxograma de apresentação da dosagem das argamassas de revestimentos.<br>.....  | 63 |
| Figura 3.17 – Composições das argamassas mistas em volume.....   | 65 |
| Figura 3.18 – Fluxograma de apresentação das argamassas de revestimentos escolhidas<br>para os ensaios de caracterização. ....   | 65 |
| Figura 3.19 – Fluxograma de apresentação dos ensaios de caracterização das argamassas<br>de revestimentos. ....  | 66 |
| Figura 3.20 – Cone de penetração utilizado no ensaio de consistência das argamassas. ....  | 71 |
| Figura 3.21 – Aparelho vane tester utilizado para medir tensão limite de escoamento das<br>argamassas.....   | 72 |
| Figura 3.22 – Fluxograma de apresentação das variáveis do ensaio de acompanhamento da<br>movimentação superficial do revestimento. ....  | 76 |
| Figura 3.23 – Corpo-de-prova usado para o acompanhamento da movimentação superficial<br>do revestimento – desenho esquemático. ....  | 77 |
| Figura 3.24 – Fluxograma do processo de preparação do corpo-de-prova usado para o<br>acompanhamento da movimentação superficial do revestimento. ....                              | 77 |
| Figura 3.25 – Detalhamento da variável preparo do substrato.....   | 78 |
| Figura 3.26 – Painéis preparados para receber o revestimento (chapisco convencional e<br>chapisco industrializado). ....   | 81 |
| Figura 3.27 – Detalhamento da variável argamassa de revestimento.....  | 81 |
| Figura 3.28 – Detalhamento da variável espessura da camada de revestimento.....  | 82 |
| Figura 3.29 – Desenho esquemático do corte do corpo-de-prova do acompanhamento da<br>movimentação superficial do revestimento. ....  | 82 |
| Figura 3.30 – detalhamento da variável condição de exposição. ....   | 83 |
| Figura 3.31 – Ensaio - condição de exposição severa. ....  | 84 |
| Figura 3.32 – Ilustração do corpo-de-prova com a localização e identificação dos pontos<br>para o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento. ....                 | 86 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 3.33 – Pontos para acompanhamento da movimentação superficial do revestimento fixados no corpo-de-prova.....   | 87  |
| Figura 3.34 – Lupa e fissurômetro utilizados no levantamento das fissuras do revestimento. ....   | 87  |
| Figura 3.35 – Martelo usado para detectar de regiões de descolamento do revestimento. .   | 88  |
| Figura 3.36 – Ensaio de determinação da resistência de aderência do revestimento. ....  | 89  |
| Figura 3.37 – Representação esquemática do corte do corpo-de-prova apresentando os locais de extração das amostras da argamassa para o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio..... | 90  |
| Figura 3.38 – Fluxograma dos ensaios para avaliação da perda de água das argamassas de revestimento. ....   | 91  |
| Figura 3.39 – Determinação da perda de massa da argamassa por evaporação. ....  | 92  |
| Figura 3.40 – Determinação da perda de massa da argamassa por absorção e evaporação.  | 94  |
| Figura 3.41 – Detalhamento das variáveis independentes do acompanhamento da movimentação interna do revestimento.....   | 96  |
| Figura 3.42 – Substrato colocado dentro da forma antes de receber o revestimento. ....  | 98  |
| Figura 3.43 – Conjunto haste e grelha.....  | 98  |
| Figura 3.44 – Esquema mostrando do corpo-de-prova do acompanhamento da movimentação interna do revestimento em corte.....   | 99  |
| Figura 3.45 – Ensaio de determinação da movimentação interna do revestimento. ....  | 100 |
| Figura 3.46 – Detalhe do corpo-de-prova do acompanhamento da movimentação interna do revestimento com dois sensores paralelos.....  | 100 |
| Figura 4.1 – Composição das argamassas mistas após a mistura, em volume.....  | 102 |
| Figura 4.2 – Resultados do ensaio de determinação da absorção capilar de água livre pelos substratos.....   | 105 |
| Figura 4.3 – Resultados da determinação da perda de massa das argamassas de revestimento AME6 e AI por evaporação, nas condições Sev. e Lab. de exposição.....                              | 107 |
| Figura 4.4 – Resultados do ensaio para determinação da retenção de água das argamassas de revestimento AME6 e AI pela ABNT NBR 13277: 2005.....   | 108 |
| Figura 4.5 – Gráfico da perda de água na camada interna do revestimento AME6 aplicado sobre os substratos SC, CI e CC na condição de exposição Sev. e Lab.....                              | 109 |
| Figura 4.6 – Gráfico da perda de água na camada externa do revestimento AME6 aplicado sobre os substratos SC, CI e CC na condição de exposição Sev. e Lab.....                              | 110 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.7 – Gráfico da perda de água total do revestimento AME6 aplicado sobre os substratos SC, CI e CC nas condições de exposição Sev. e Lab. ....  | 111 |
| Figura 4.8 – Gráfico da massa de água livre absorvida pelos substratos SC, CI e CC com relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos igual a 16. ....   | 111 |
| Figura 4.9 – Resultados da determinação da perda de massa da argamassa de revestimento AME6 nas condições Sev. e Lab. de exposição, em relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos igual a 16. .... | 112 |
| Figura 4.10 – resultados da avaliação da retenção de água, da variação dimensional e de massa. ....  | 113 |
| Figura 4.11 – resultados da variação dimensional livre e da variação de massa da argamassa industrializada em relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos. ....                                     | 114 |
| Figura 4.12 – resultados da variação dimensional livre (VD) e da variação de massa (VM) da argamassa mista em relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos. ....                                     | 114 |
| Figura 4.13 – Variação dimensional livre e variação de massa das amostras AI e AME6 em relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos. ....  | 115 |
| Figura 4.14 – Variáveis intervenientes na movimentação do revestimento. ....   | 116 |
| Figura 4.15 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas SC.AI.30 - 1, 2 e 3. ....   | 117 |
| Figura 4.16 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CI.AI.30 - 1, 2 e 3. ....   | 117 |
| Figura 4.17 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AI.30 - 1, 2 e 3. ....   | 117 |
| Figura 4.18 – Ilustração do corpo-de-prova com a identificação dos pontos para o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento. ....  | 118 |
| Figura 4.19 – Gráfico da movimentação superficial média nas placas SC.AI.30 - 1, 2 e 3. ....   | 118 |
| Figura 4.20 – Gráfico da movimentação superficial média nas placas CI.AI.30 - 1, 2 e 3. ....   | 119 |
| Figura 4.21 – Gráfico da movimentação superficial média nas placas CC.AI.30 - 1, 2 e 3. ....   | 119 |
| Figura 4.22 – Esquema com as possíveis comparações entre as séries ensaiadas. ....   | 120 |
| Figura 4.23 – Comparativo entre a movimentação média das placas com argamassa AI.30 com diferentes tipos de substratos. ....   | 121 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 4.24 – Comparativo entre a movimentação média das placas com argamassa AME6.30 com diferentes tipos de substratos. ....   | 122 |
| Figura 4.25 – Comparativo da velocidade da movimentação superficial média, de todas as séries estudadas, nas primeiras 24 horas de acompanhamento. ....  | 124 |
| Figura 4.26 – Comparativo da movimentação superficial média entre os corpos-de-prova com espessura de 30 mm e o mesmo tipo de preparação de base (CC), submetidos a condição Sev. ....   | 125 |
| Figura 4.27 – Comparativo do teor de aglomerantes das argamassas mistas, em volume percentual, com o módulo de deformação das argamassa. ....  | 126 |
| Figura 4.28 – Comparativo da movimentação superficial média entre os corpos-de-prova com variação da espessura da camada de revestimento. ....   | 127 |
| Figura 4.29 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas SC.AME6.30Lab - 1, 2 e 3. ....  | 129 |
| Figura 4.30 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CI.AME6.30Lab - 1, 2 e 3. ....  | 129 |
| Figura 4.31 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AME6.30Lab - 1, 2 e 3. ....  | 129 |
| Figura 4.32 – Comparativo da movimentação superficial média entre os corpos-de-prova submetidos a condições de exposição Lab. e Sev., que utilizaram AME6.30 com os três tipos de preparação de base (SC; CI; e CC). ....  | 130 |
| Figura 4.33 – Gráfico da perda de água na camada interna (A) e externa (B) do revestimento AME6 aplicado sobre os substratos SC, CI e CC na condição de exposição Sev. e Lab. ....   | 131 |
| Figura 4.34 – Gráficos do acompanhamento do descolamento (A) e da fissuração (B)...  | 132 |
| Figura 4.35 – Gráfico da movimentação interna do revestimento nos momentos pós-aplicação. ....   | 135 |
| Figura 4.36 – Gráfico da movimentação interna do CC.AE6.30LAB a 10 mm e a 20 mm de distância do substrato. ....  | 136 |
| Figura 4.37 – Gráfico da movimentação vertical na superfície do revestimento nos momentos pós-aplicação. ....  | 137 |
| Figura 4.38 – Amostras SC.AME6_Lab. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume acumulado (cm <sup>3</sup> /g) versus diâmetro dos poros (µm). (B) volume incremental (cm <sup>3</sup> /g) versus diâmetros dos poros (µm). .... | 140 |
| Figura 4.39 – Amostras SC.AME6_Sev. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume  |     |

|   |     |
|---|-----|
| acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ). (B) volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ ).....   | 140 |
| Figura 4.40 – Amostras CC.AME6_Sev. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ). (B) volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ )..... | 140 |
| Figura 4.41 – Amostras CI.AME6_Sev. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ). (B) volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ )..... | 141 |
| Figura 4.42 – Amostras SC.AI_Sev. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ). (B) volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ ). ..... | 141 |
| Figura 4.43 – ilustração da condição inicial do revestimento em argamassa (adaptada de Carasek et al., 2005).....   | 146 |
| Figura 4.44 – Adesão inicial insatisfatória (Gonçalves, 2004).....  | 149 |
| Figura 4.45 – Ilustração do descolamento do revestimento em argamassa (adaptada de Carasek et al., 2005).....   | 151 |
| Figura 4.46 – Ilustração do aparecimento de fissuras no revestimento de argamassa. ....   | 152 |
| Figura 4.47 – Ilustração do descolamento a aparecimento de fissuras no revestimento de argamassa (adaptada de Carasek et al., 2005). .....  | 153 |
| Figura 4.48 – Amostra extraída da região do revestimento com fissuras do corpo-de-prova SC.AME6.30_Sev. ....  | 154 |



## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

| SÍMBOLO OU<br>ABREVIACÃO | SIGNIFICADO  |
|--------------------------|--|
| $A$                      | Área da face de entrada do fluxo (seção transversal)                               |
| $a$                      | Constante característica do material (absortividade)                               |
| ABCP                     | Associação Brasileira de Cimento Portland  |
| ABNT                     | Associação Brasileira de Normas Técnicas   |
| AI                       | Argamassa industrializada  |
| AM                       | Argamassa mista  |
| ASTM                     | <i>American Society for Testing and Materials</i>                                  |
| $b$                      | Base do corpo-de-prova   |
| BRE                      | <i>Building research establishment</i>   |
| CBEE                     | Centro Brasileiro de Energia Eólica  |
| CH-I                     | Cal hidratada tipo I   |
| CPII-Z-32 RS             | Cimento Portland composto com adição de material pozzolânico resistente a sulfatos |
| $D$                      | Diâmetro da palheta  |
| $d$                      | Espessura do corpo-de-prova  |
| $D(\theta_1)$            | Difusividade hidráulica  |
| $D(C)$                   | Difusividade devido ao gradiente de umidade  |
| $e$                      | Espessuras admissíveis para o revestimento   |
| $E$                      | Módulo de deformação   |
| $e_a$                    | Espessura da camada de água adsorvida  |
| $E_c$                    | Módulo corda   |
| EPUSP                    | Escola Politécnica da Universidade de São Paulo                                    |
| $F$                      | Carga aplicada no meio do vão  |
| $FA$                     | Relação água/argamassa fresca  |
| $f_{ck}$                 | Resistência característica do concreto à compressão                                |
| $H$                      | Altura da palheta  |
| $h$                      | Energia hidráulica da água por unidade de peso                                     |
| $i$                      | Volume acumulado de água absorvido por unidade de área                             |
| INMET                    | Instituto Nacional de Meteorologia   |
| IPT                      | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo                         |
| IRA                      | Taxa inicial de absorção de água livre   |
| ISO                      | <i>International Organization for Standardization</i>                              |
| $k$                      | Condutividade hidráulica   |
| $k_e$                    | Permeabilidade específica  |

|                          |  |
|--------------------------|--|
| $l$                      | Distância entre apoios                                     |
| LEM                      | Laboratório de Ensaios de Materiais                        |
| $M$                      | Massa molecular da água                                    |
| $m$                      | Massa inicial da amostra                                   |
| $M_{\text{argamassa}}$   | Medida da massa inicial da argamassa                       |
| $M_{\text{conjunto}}$    | Medida da massa inicial do conjunto                        |
| $m_d$                    | Massa do material no estado seco                           |
| $M_{\text{fôrma}}$       | Medida da massa da fôrma                                   |
| $M_{\text{seca}}$        | Massa da amostra seca                                      |
| $M_{\text{úmida}}$       | Massa da amostra úmida no tempo $t$                        |
| $M_w$                    | Massa total de água utilizada na argamassa                 |
| NBR                      | Norma Brasileira   |
| NM                       | Norma Mercosul   |
| NUTEA                    | Núcleo de Tecnologia das Argamassas e Revestimentos        |
| $PA_{\text{evaporação}}$ | Perda de água por evaporação                               |
| PECC                     | Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil |
| $q$                      | Densidade de fluxo   |
| $R$                      | Constante universal dos gases                              |
| $R_a$                    | Retenção de água   |
| $r_c$                    | Raio crítico   |
| $R_x$                    | Raios de curvatura principal                               |
| $S$                      | Coefficiente de absorção de água “Absortividade”           |
| $s$                      | Coordenada de posição                                      |
| $S(r)$                   | Superfície acumulada dos poros com raio maior do que $r$   |
| SBTA                     | Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas            |
| $T$                      | Temperatura  |
| $t$                      | Tempo  |
| $T_m$                    | Torque máximo  |
| $U_{\text{camada}}$      | Umidade da camada  |
| UFG                      | Universidade Federal de Goiás                              |
| UnB                      | Universidade de Brasília                                   |
| UNISINOS                 | Universidade do Vale do Rio dos Sinos                      |
| $UR$                     | Umidade relativa   |
| $V$                      | Volume de água na amostra                                  |
| $V_p$                    | Volume de pasta  |
| $V_{va}$                 | Volume de vazios da areia                                  |
| $\alpha$                 | Angulo de contato entre a água e a superfície do poro      |
| $\gamma_{sv}$            | Tensão superficial na interface sólido-vapor               |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| $\gamma_{SL}$              | Tensão superficial na interface sólido-líquido             |
| $\gamma_{LV}$              | Tensão superficial na interface líquido-vapor              |
| $\delta$                   | <i>Deslocamento (flecha) no meio do corpo-de-prova</i>     |
| $\Delta(V_{ag})/ \Delta t$ | Taxa de acumulação de água                                 |
| $\theta$                   | Concentração de água                                       |
| $\theta_1$                 | Concentração de água mínima alcançada                      |
| $\Delta S_r$               | Superfície lateral de poros                                |
| $\partial C/\partial t$    | Conteúdo volumétrico de água                               |
| $\Delta m$                 | Medida de massa ganha no tempo $t$                         |
| $\epsilon_i$               | Deformação longitudinal específica de tração               |
| $\eta$                     | Viscosidade dinâmica do fluido                             |
| $\theta_0$                 | Concentrações de água máxima                               |
| $\theta_r$                 | Concentrações de água normalizada                          |
| $\theta_w$                 | Concentração de água da amostra                            |
| $\rho$                     | Massa específica do fluido                                 |
| $\rho_1$                   | Densidade da água  |
| $\rho_d$                   | Densidade do material no estado seco                       |
| $\sigma$                   | Tensão superficial líquido-ar                              |
| $\Sigma$                   | Tensão superficial da água                                 |
| $\sigma_i$                 | Tensão de tração na flexão                                 |
| $\tau_0$                   | Tensão limite de escoamento ou resistência ao cisalhamento |

# **1 - INTRODUÇÃO**

A presente tese está inserida na linha de pesquisa referente à “Sistemas Construtivos e Desempenho de Materiais e Componentes”, do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB), em especial, no tema “Sistemas de Revestimento, de Impermeabilização e de Proteção”, abordando especificamente o transporte de água por absorção do substrato e pela evaporação, a qual admite-se está ligada ao fenômeno da retração e ao desenvolvimento de propriedades mecânicas que influenciam a durabilidade, especialmente com a ocorrência de descolamentos, geralmente acompanhados de fissuração, dos revestimentos à base de argamassa: resistência de aderência à tração e módulo de deformação.

## **1.1 - IMPORTÂNCIA DO TEMA E JUSTIFICATIVA**

O presente trabalho se concentra nos revestimentos em argamassa, que são empregados com grande frequência como elemento de acabamento final das vedações, tanto nas faces internas como nas externas. O revestimento de argamassa, sendo uma das partes integrantes do sistema de vedações, deve apresentar um conjunto de propriedades que irão contribuir para a obtenção do adequado comportamento das vedações e, conseqüentemente, do edifício como um todo. As funções desse revestimento vão desde a proteção da alvenaria, regularização das superfícies, estanqueidade à água e aos gases, até funções de natureza estética. Cabe salientar que não é função do revestimento de argamassa corrigir ou esconder as imperfeições grosseiras da base, muitas vezes desalinhada e fora de prumo, devido à falta de cuidados no momento da execução da estrutura de concreto armado e da alvenaria.

As propriedades da argamassa, os substratos, as técnicas de execução e as condições ambientais do local onde se constrói o edifício são os principais fatores que influenciam no desempenho dos revestimentos de argamassa. O desconhecimento desses aspectos e da relação entre eles pode ser apontado como um dos principais

fatores determinantes da grande incidência de manifestações patológicas nos revestimentos.

O que ocorre hoje é a utilização de argamassas de modo empírico, sem um estudo prévio de suas características ou mesmo de sua aplicabilidade em um determinado projeto. Podem, ainda, ser exemplificadas, as seguintes peculiaridades, citadas por Araújo Jr. (2004) que dificultam a obtenção de parâmetros aplicados para as argamassas de revestimento:

- a forma de execução do revestimento, onde a argamassa, na maioria das vezes, é aplicada manualmente e apresenta uma variabilidade muito grande com relação à resistência de aderência, em função da mão-de-obra. Corroborando esse fato, Gonçalves (2004), em estudo de campo identificou que o processo executivo, particularmente a mão-de-obra, é responsável por grande parte da alta variabilidade de resistência de aderência à tração;
- as argamassas necessitam de propriedades específicas e diferenciadas no estado fresco, como a plasticidade e consistência, para que possam ser aplicadas. Essas propriedades também têm grande influência nas propriedades da argamassa aplicada (revestimento);
- o desconhecimento de quais propriedades devem ser avaliadas e que métodos devem ser usados para se obter um perfil de comportamento ou desempenho, ou mesmo para realizar a especificação de uma argamassa para uma determinada aplicação; e
- o grande número de fatores intervenientes como: a natureza do substrato, o preparo da base de aplicação, os materiais constituintes das argamassas, sua dosagem, assim como o meio onde estão sendo aplicadas, também, interferem nas propriedades dos revestimentos.

A falta ou perda do desempenho do revestimento normalmente acarreta prejuízos econômicos importantes, muitas vezes afetando a integridade das construções, causando eventuais prejuízos a habitabilidade e ao conforto, além de ocasionar o comprometimento estético da edificação (Carasek, 1996). Apesar dos avanços no estudo das argamassas, do desenvolvimento de novas práticas construtivas e de inserção de novos materiais, em determinadas avaliações é notório o caráter empírico nas proposições de algumas soluções. Nesse contexto Paes (2004) comenta sobre a formulação de argamassas de revestimento que atendam no estado fresco, dentre outras, condições adequadas de trabalhabilidade, coesão, retenção de água e tixotropia

que, na maioria das vezes, para se chegar a essas propriedades opta-se por soluções empíricas, baseadas na experiência de oficiais pedreiros, com resultados imprevisíveis e, conseqüentemente, com grandes possibilidades de desenvolvimento de manifestações patológicas.

Baía e Sabattini (2004) ressaltam que nos últimos anos vem crescendo, por parte da indústria da construção civil, a busca por um desenvolvimento tecnológico enfocando a obtenção de ganhos de qualidade nos seus produtos e a redução dos custos dos processos construtivos. Essas empresas construtoras estão procurando, com isso, atingir uma posição competitiva no mercado da construção civil, trocando o empirismo do processo construtivo pelos conceitos de base científica, visando diminuir o elevado índice de fenômenos patológicos e desperdícios, mas deve-se salientar que ainda é grande a quantidade de edificações que apresentam patologias nos revestimentos.

A execução do sistema de revestimento de uma obra representa um alto consumo de materiais e mão-de-obra. Dessa forma, a elevada e constante incidência de problemas no revestimento em argamassa ocasionam uma série de prejuízos significativos que afetam diretamente as construtoras que são obrigadas a realizar reparos não programados e que ainda podem ter a sua imagem comprometida, além de acarretar acidentes e mesmo uma situação estética desagradável que acaba interferindo na qualidade de vida dos moradores e no valor do imóvel.

Bastos (2001) lembra que ao executar o revestimento de uma parede espera-se, entre outros requisitos de qualidade, que ele não venha a apresentar fissuração que comprometa o seu desempenho, principalmente quanto à permeabilidade e aderência à base. Recentemente têm sido relatados, em todo o Brasil, vários casos de manifestações patológicas em revestimentos de argamassa, tanto com argamassas mistas, como com argamassas industrializadas. Os problemas são os mais diversos, conforme exposto nos Simpósios Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (SBTA), mas dentre eles vem se destacando o descolamento do revestimento aplicado sobre as estruturas de concreto armado e pretendido como uma manifestação cada vez mais freqüente, na qual muitas vezes as suas causas não são ainda totalmente compreendidas (Nascimento et al., 2003; Ceotto et al., 2003; Veiga, 2003; Carasek et al, 2005 e Nascimento et al., 2005).

Na região Centro-Oeste, em especial no Distrito Federal, está se tornando comum encontrar revestimentos de argamassa com fissuras e com sérios problemas de descolamento da base. Um exemplo dessas manifestações patológicas do revestimento é apresentado na Figura 1.1.



Figura 1.1 - Descolamento do revestimento em argamassa, em placas coesas, com ruptura na interface do chapisco com a estrutura de concreto (Bauer, 2002).

Pode-se dizer, inicialmente, que essas manifestações patológicas estão ligadas às condições climáticas dessa região, que em determinada época do ano se mostra mais quente e seco, pois coincidem com o período de maior ocorrência de fissuração e de descolamentos. Deve-se destacar também, que durante a “época de estiagem” a execução do revestimento, principalmente em fachadas externas, tem o seu pico de produção, tornando ainda mais preocupante esses problemas.

Essas manifestações patológicas (fissuras e o descolamento do substrato) podem estar associadas ao fenômeno de retração das argamassas de revestimento, causado pela perda de água da argamassa fresca para o substrato poroso (absorção) e para o ambiente (evaporação) que têm sido tema de destaque em pesquisas científicas no Brasil e no exterior (Détriché, 1977 e 1983; Veiga, 1997; Bastos, 2001).

Sabe-se que as fissuras podem originar-se por tensões, resultantes de movimentos diferenciais que se manifestam quase que de imediato na interface dos materiais que

constituem o revestimento. Obviamente, as tensões possuem diferentes magnitudes e caso essas superem a resistência de aderência existente na interface argamassa com o substrato, podem comprometer a estanqueidade dos revestimentos à água e aos gases (Lejeune, 1985; Bastos, 2001).

Dentro desse contexto, cabe enfatizar que, o desempenho mecânico da argamassa endurecida está intimamente ligado ao transporte de água presente na argamassa fresca. Todos os aspectos mencionados envolvem um processo fundamental, o movimento de água em materiais porosos cuja concentração de água não é uniforme e geralmente menor que a saturação. Trata-se, portanto, de problemas de fluxo em meio poroso não saturado. Essa movimentação de água, por sua vez, depende em grande parte da estrutura de poros desses materiais. Ressalta-se, porém, que tais materiais apresentam poros altamente irregulares e tortuosos e, no caso da argamassa, fortemente indefinidos nos momentos iniciais.

Diante do exposto, torna-se evidente a necessidade de pesquisas de cunho científico e tecnológico, que visem solucionar muitos questionamentos que envolvem os revestimentos. No âmbito nacional deve-se enfatizar que existem diversos trabalhos teóricos e experimentais que objetivam determinar parâmetros para avaliação do sistema de revestimento como os desenvolvidos por Bastos (2001), Santos (2003), Do Ó (2004), Paes (2004) e Souza (2005) que enfocam o estado fresco e momentos iniciais pós-aplicação; Selmo (1989), Angelim (2000) e Alves (2002) realizaram trabalhos com relação aos procedimentos de dosagens e materiais constituintes; para a relação argamassa e substrato pode-se citar as pesquisas de Carasek (1996), Candia (1998), Scartezini (2002), Leal (2003) e Gonçalves (2004); e para o comportamento físico-mecânico Tristão (1995), Oliveira (1999), Cortez (1999), Saraiva (1998), Almeida Dias (2003), Araújo Jr. (2004), Silva (2006) e Uchoa (2007). Deve-se salientar que esses trabalhos têm fornecido subsídios para que os revestimentos possam vir a ter desempenho aceitável. Para tanto, é necessário o conhecimento dos materiais componentes a serem utilizados e de sua interação, inclusive com o meio a que o revestimento está exposto.



Apesar do progresso alcançado no estudo dos sistemas de revestimento, o que ocorre hoje é uma deficiência no conhecimento sobre o funcionamento e comportamento dos revestimentos. Muitas lacunas ainda encontram-se presentes, principalmente no que tange às pesquisas voltadas ao entendimento dos mecanismos de transporte de água e suas conseqüências, em especial no período inicial, pós-aplicação da argamassa. Nos estudos ligados a retração da argamassa de revestimento, percebe-se uma deficiência de informações sobre fatores que interferem na movimentação de água e suas conseqüências. Pode-se colocar que praticamente não se encontra na literatura associações entre a movimentação do revestimento e valores que representem o volume de água retirado da argamassa ao longo do tempo.

A contribuição da presente pesquisa está em buscar entender os mecanismos que levam ao descolamento, geralmente acompanhado de fissuração, dos revestimentos de argamassa aplicados sobre estruturas de concreto, atualmente um dos principais problemas detectado em estudos de casos práticos ocorridos em obras de Brasília-DF, e associá-los com a retração causada pela retirada de água da argamassa por absorção pelo substrato e evaporação. Dessa forma, sendo esse um tema bastante atual, ainda com muitos questionamentos, é que se decidiu pela realização desta pesquisa, a fim de encontrar respostas, de forma científica e também tecnológica, para algumas das questões relacionadas ao aparecimento de manifestações patológicas ligadas à retração do revestimento de argamassa.

A originalidade do trabalho está baseada na quantificação do transporte de água das argamassas (ao longo do tempo), ou seja, no levantamento da quantidade de água necessária para a produção de argamassas de revestimento trabalháveis, na quantidade de água retirada pela evaporação, na transportada para o substrato e, conseqüentemente, na concentração de água contida no interior da argamassa, bem como na forma desenvolvida para obtenção desses dados. De acordo com Paes (2004), uma previsão mais refinada da movimentação e distribuição de umidade nos materiais permite entender, dentre outros, como se processam os fenômenos da retração por secagem, da formação de fissuras e da interferência na aderência entre os materiais.

Outro ponto inovador dessa pesquisa está na metodologia de avaliação e estudo utilizada para acompanhar a movimentação da argamassa de revestimento aplicada sobre de painéis de concreto, a partir dos momentos iniciais pós-aplicação da argamassa de revestimento no substrato e em idades subseqüentes, que possibilitou a proposição de um modelo comportamental.

## **1.2 - OBJETIVOS**

O objetivo da presente pesquisa consiste em entender a influência da movimentação de água na argamassa aplicada sobre substratos de concreto aos fenômenos de retração e descolamento do revestimento, levando em conta condições às quais estão sujeitas as argamassas, em termos de solicitações e deformações. Atêm-se aos momentos iniciais pós-aplicação e em idades subseqüentes, pelo uso de métodos que simulem, em laboratório, situações próximas das condições de obras encontradas na região Centro-Oeste, em especial a do Distrito Federal.

Com o entendimento da proposta geral do trabalho, são, então, apresentados os objetivos específicos da pesquisa:

- desenvolver e aprimorar metodologias experimental de avaliação e estudo utilizada para acompanhar a movimentação da argamassa de revestimento aplicada sobre painéis de concreto;
- desenvolvimento de protótipo para explicação e avaliação dos fenômenos de retração, descolamento e fissuração do revestimento em argamassa;
- enfoque do estudo da retração e transporte de água entre as argamassas e a base;
- influência do preparo de base, particularmente o chapisco aplicado à superfície de concreto, sobre os fenômenos;
- avaliação do desempenho dos revestimentos à base de argamassa expostos a duas condições de secagem distintas (condição severa e condição de laboratório); e
- proposição de um modelo comportamental, para retração, fissuras e descolamento do revestimento à base de argamassa.

### **1.3 - ESTRUTURAÇÃO DA TESE**

Este trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos, sendo este a introdução que tem um caráter geral de apresentação do tema, indicando os motivos que levaram à pesquisa, a importância e os objetivos.

O segundo capítulo, revisão bibliográfica, aborda questões ligadas ao tema destacando, dentre outros assuntos, os mecanismos de transporte e fixação de água da argamassa fresca, as características de sucção dos substratos porosos e as suas inter-relações com o desempenho do revestimento, na forma de retração da argamassa.

O programa experimental é abordado no Capítulo 3, onde são apresentadas as variáveis do estudo, os ensaios de caracterização dos materiais, os procedimentos de ensaios empregados na avaliação das propriedades das argamassas (no estado fresco), a metodologia adotada para obtenção dos perfis de movimentação de água da argamassa (absorção e evaporação), e para mensurar a movimentação do revestimento, incluindo os estudos-piloto necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

O Capítulo 4 apresenta os resultados obtidos no programa experimental e mostra a discussão sobre eles, sendo inicialmente mostrados os comportamentos dos substratos quanto à absorção de água livre. Em seguida, apresentam-se os resultados em forma de gráficos (perfis) da absorção e evaporação de água da argamassa fresca. Da mesma forma são apresentados os resultados do acompanhamento da movimentação do revestimento, tendo na sua discussão a inclusão de relações com os demais resultados dessa tese. São mostrados, ainda, os resultados de resistência de aderência à tração das argamassas. Posteriormente, mostram-se os resultados relacionados ao espectro de dimensões de poros das argamassas, obtidos por meio de porosimetria por intrusão de mercúrio. Finalmente têm-se a proposição de um modelo comportamental do revestimento à base de argamassa frente aos fenômenos envolvidos.

Finalizando, tem-se o Capítulo 6, onde são tecidas as conclusões da tese, e as sugestões para futuras pesquisas. Após este capítulo, são apresentados seqüencialmente, as referências bibliográficas e o apêndice.

## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA - ARGAMASSA**

Neste capítulo é apresentada uma revisão da literatura com o objetivo de sistematizar a terminologia e os conceitos básicos referentes à argamassa de revestimento e à movimentação de água do revestimento em argamassa.

### **2.1 - INTRODUÇÃO**

Depreende-se, no que diz respeito ao sistema de revestimento em argamassa, que, tão importante quanto às propriedades da argamassa, são as características do substrato e as do ambiente em que ela está inserida. Uma vez que a argamassa de revestimento, em especial a aplicada sobre fachadas, sofre de maneira intensa a ação da perda de água de amassamento pela ação conjunta da sucção na face de contato com o substrato e, em decorrência da sua superfície exposta ao ar, muito extensa em relação ao seu volume, dos agentes climáticos.

O estudo da movimentação de água para o meio externo e entre materiais distintos e porosos, como é o caso da retração da argamassa aderida ao substrato, passa pelo entendimento do que acontece na superfície dos materiais, no seu interior e na interface gerada com a união destes. Deve-se salientar que não são muitos os estudos sobre a influência da perda de água por evaporação no revestimento em argamassa sob o aspecto da retração e da resistência de aderência.

Dessa forma, a seguir são apresentados, primeiramente, alguns tópicos relativos ao revestimento de argamassa para, em seguida, abordar os mecanismos de transporte que influem diretamente na movimentação e fixação de água da argamassa fresca.

### **2.2 - REVESTIMENTO EM ARGAMASSA**

Inicialmente cabe ressaltar que a argamassa é comumente conceituada como um material composto, formado potencialmente pela composição, em proporções adequadas, de aglomerantes de origem mineral, agregados miúdos e água, podendo,

ainda, conter aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento (ABNT NBR 13529:1995).

Pode-se definir argamassa de outra forma como sendo um material composto por duas frações, uma ativa, composta pelos aglomerantes, e outra, dita inerte, formada pelos agregados. Para a maioria das argamassas mistas de revestimento a fração ativa é composta por cimento e cal hidratada, onde se admite que o cimento seja responsável por uma grande parte da resistência mecânica e, a cal, pela sua capacidade de deformação. Já a fração inerte é composta por areia, que não participa das reações químicas de endurecimento.

A ABNT NBR 13529:1995 define revestimento em argamassa como sendo o cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final. Bonin (2005) lembra que esse revestimento deve ter ainda a finalidade de proteção da superfície. Deve-se salientar que o revestimento de camada única é, também, definido nessa norma como sendo o revestimento de um único tipo de argamassa, aplicado sobre a base de revestimento, em um ou mais demãos.

Os revestimentos de argamassas são aplicados sobre diversos tipos de base ou substrato. É necessário lembrar que a base do revestimento é a superfície sobre a qual é aplicado o revestimento de argamassa. Nesse contexto, cabe mencionar que o chapisco é um procedimento de preparação de base e não constitui uma camada do revestimento. O seu emprego é feito com finalidade de melhorar a base propiciando uma textura rugosa e com porosidade adequada ao desenvolvimento da aderência do revestimento de argamassa.

Como os revestimentos de argamassa são constituídos, de modo geral, por diversas camadas justapostas e materiais diferentes ligados entre si, qualquer deformação em uma dessas camadas faz surgir tensões em todo conjunto. Essas tensões dependem de um grande número de fatores, tais como espessura, módulo de elasticidade e de outras características físicas da própria camada (Fiorito, 1994).

Como exposto anteriormente, os revestimentos de argamassa podem ser constituído por uma ou mais camadas. Para esses revestimentos, externos e internos, a ABNT NBR 13749:1996 indica os limites de espessura, conforme estão indicados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Espessuras admissíveis para o revestimento de argamassas (ABNT NBR 13749:1996).

| <b>Revestimento</b>       | <b>Espessura (mm)</b> |
|---------------------------|-----------------------|
| Parede interna            | $5 \leq e \leq 20$    |
| Parede externa            | $20 \leq e \leq 30$   |
| Tetos internos e externos | $e \leq 20$           |

Ao se abordar a definição de valores quantitativos para determinados parâmetros técnicos dos revestimentos, como, por exemplo, a espessura máxima admissível de uma camada ou a resistência mínima de aderência do revestimento por tração, surgem diversos conflitos. Nesses casos, a definição de padrões técnicos desejáveis pode esbarrar na capacidade técnica de uma expressiva parcela das empresas nacionais em atender aos padrões propostos, a oposição neste caso ocorre entre o possível e o desejável (Bonin et al., 1997). Deve-se ressaltar que espessuras diferentes podem também ocorrer de uma obra para outra seguindo especificações de projeto, uma vez que é muito difícil generalizar condutas, face às grandes diferenciações quanto a materiais, processos e condições climáticas.

Na prática, é quase impossível evitar que aconteçam variações na espessura do revestimento de argamassa de um edifício, principalmente em fachadas externas, por maior que seja o cuidado na obtenção de prumo e planeza na execução da estrutura e da alvenaria. Nesses casos, são encontradas espessuras superiores a 30 mm (Figura 2.1), muitas vezes executadas para corrigir o prumo não alcançado em etapas anteriores.

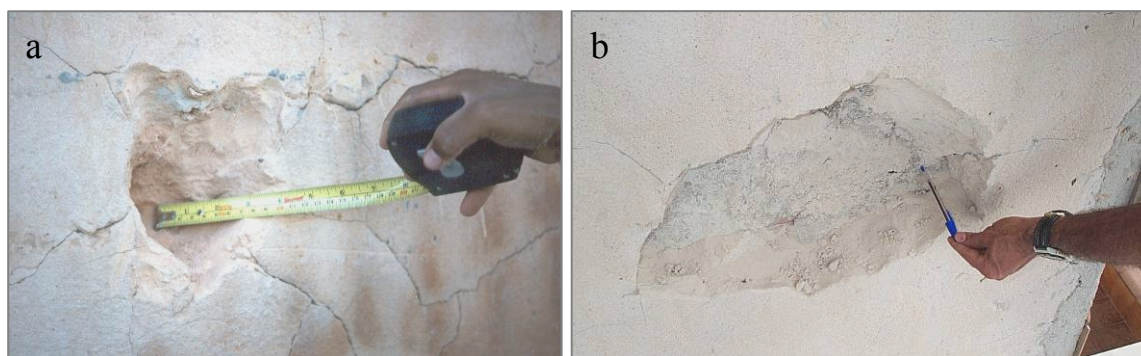


Figura 2.1 – Revestimentos em argamassa, empregados em fachadas, com grandes espessuras (Bauer, 2000).

A Figura 2.1 mostra dois casos onde o revestimento em argamassa, com espessura superior a 100 mm, apresentam fissuras mapeadas, provavelmente ocasionadas pela conjugação de fatores como a espessura excessiva, elevado teor de materiais finos e prazo de exposição prolongado ao intemperismo.

Na maioria das vezes, esses revestimentos, com elevada espessura, podem ocasionar problemas não só de sobrecargas na estrutura, como também de fissuração causada pela retração da argamassa de revestimento. É necessário lembrar que as camadas de argamassa que são aplicadas em espessuras superiores a 30 mm estão mais sujeitas a sofrerem retração na secagem e a apresentarem fissuras, além de não acompanharem as deformações da estrutura, pois a sua capacidade de absorção de tensões é baixa.

Por outro lado, Baía e Sabbatini (2004) recomendam alguns limites para espessuras mínimas nos pontos críticos do revestimento de argamassa de fachada que se encontra em condições de exposição mais severas para que a proteção da base pelo revestimento não seja prejudicada. As espessuras mínimas são mostradas na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Espessuras mínimas nos pontos críticos do revestimento de argamassas (Baía e Sabbatini, 2004).

| <b>Tipo de base</b>                         | <b>Espessura mínima (mm)</b> |
|---|------------------------------|
| Estrutura de concreto em pontos localizados | 10                           |
| Alvenaria em pontos localizados             | 15                           |
| Vigas e pilares em regiões extensas         | 15                           |
| Alvenaria em regiões extensas               | 20                           |

Deve-se ressaltar que estes autores não citam a fonte dessas informações, mas acredita-se que esses valores devam estar ligados ao surgimento de manifestações patológicas ocasionadas pela retração, devido à retirada de água pelo substrato associado à evaporação.

### **2.3 - MECANISMOS DE TRANSPORTE E FIXAÇÃO DE UMIDADE**

Em um material poroso coexistem dois ou três estados fundamentais da matéria, que se particulariza por conter poros preenchidos por uma fase líquida e/ou gasosa, e uma matriz sólida que define as fronteiras dos poros. As fases líquida e gasosa são separadas por uma superfície (interface) onde ocorrem as interações entre elas. Nesse caso, o meio é chamado de meio poroso não saturado (Prevedello, 1996).

O transporte de água em meios porosos ocorre por dois mecanismos complexos que atuam simultaneamente com outros processos de transporte ou com as reações químicas que acontecem em condições não saturadas, tais como a carbonatação.

Um desses mecanismos ocorre quando o teor de umidade é muito baixo, não existindo continuidade dos líquidos no seu interior, e nesse caso a umidade em forma de vapor de água se transfere devido a gradientes de pressão de vapor existentes nos poros. Nessa situação, a água se move também devido a gradientes de temperatura, sendo o fluxo de calor e umidade interdependentes (Hall, 1977).

O outro mecanismo ocorre com o possível aumento do teor de umidade do material, quando passa a existir continuidade do líquido no interior dos poros e a transferência de umidade passa a ser, predominantemente, em decorrência da ação de forças capilares agindo sobre a água no estado líquido. Tanto a difusão do vapor como o transporte de água líquida são chamados, no que concerne ao comportamento da umidade em meios porosos, de fenômenos dinâmicos de migração que se processam segundo as equações governantes do fluxo de água em meio poroso não saturado (Fredlund e Rahardjo, 1993; e Prevedello, 1996).



A Figura 2.2 apresenta um modelo simplificado dos mecanismos envolvidos nas trocas de umidade de um poro com o meio exterior, quando exposto ao intemperismo natural e artificial (Andrade et al., 1999):

- Processo I – evaporação e condensação;
- Processo II – difusão de vapor de água através dos espaços vazios (ar) ou difusão da fase líquida através das paredes dos poros; e
- Processo III – trocas com o exterior por meio da absorção/dessorção de água líquida ou vapor de água.

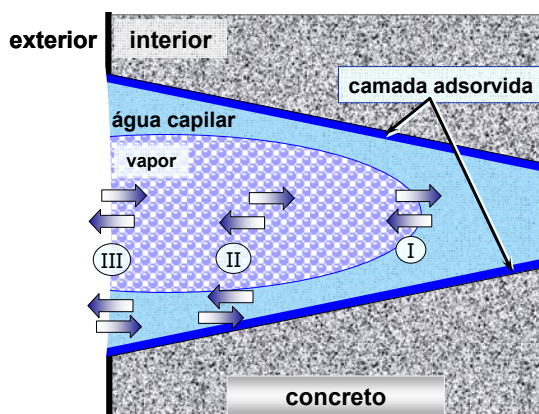


Figura 2.2 – Representação esquemática de um poro sob processo de transporte de umidade (modificado de Andrade et al., 1999).

Na fase vapor a difusão e os movimentos convectivos no interior dos poros condicionam o transporte. Na fase líquida a capilaridade, a gravidade e o efeito dos gradientes de pressão externa comandam a transferência de umidade.

De acordo com Baroghel-Bouny (1994) e Baroghel-Bouny et al. (1999), nos materiais cimentícios as transferências de umidade ocorrem durante a vida inteira. No caso das argamassas de revestimento quando expostas às condições climáticas, devido à sua estrutura porosa, estas são capazes de fixar e transferir umidade tanto na fase líquida quanto na fase de vapor. A umidade na forma de vapor é fixada nos poros da argamassa pelos processos de adsorção física e condensação capilar. Em condições isotérmicas a água fixada é transportada para o interior do material por meio de mecanismos que dependem principalmente das dimensões do poro e da umidade relativa. Na fase líquida, a água é transferida para o interior do material predominantemente pelo processo dito de capilaridade.

Pode-se resumir, do ponto de vista físico, que há três mecanismos fundamentais de fixação de umidade, adsorção, condensação e capilaridade.

A adsorção é um processo de ligação ou retenção de moléculas ou íons de um fluido a uma superfície de partículas sólidas. O grau de adsorção depende da temperatura, da pressão e da área da superfície. Vale ressaltar que esse mecanismo é, geralmente, reversível, isto é, diminuindo a pressão, o gás adsorvido é desorvido ao longo da mesma curva de adsorção. Já a desorção apresenta uma reação endotérmica que tende a aumentar com a elevação da temperatura. Em outras palavras, para que ocorra desorção têm-se que fornecer energia ao sistema.

De forma geral, os sólidos porosos são ótimos adsorventes. A camada adsorvida tem, usualmente, espessura maior que um diâmetro molecular, sendo constituída por várias camadas moleculares. As moléculas e átomos podem fixar-se à superfície por dois tipos principais de processos de adsorção: a física, também chamada fisiosorção (abreviação de adsorção física), e a química, muitas vezes denominada quimiosorção (abreviação de adsorção química).

Na adsorção física, as moléculas adsorvidas mantêm-se fixas à superfície do adsorvente por intermédio, principalmente, das forças de Van der Waals. Existe uma faixa larga de interações de Van der Waals, mas que são fracas, e a energia liberada quando uma partícula é fisicamente adsorvida é da mesma ordem de magnitude da entalpia de condensação. Essa energia pode ser absorvida como vibração do retículo e dissipada termicamente. Uma molécula agitando-se sobre a superfície irá perder esta energia gradualmente e finalmente será adsorvida, num processo denominado acomodação. A entalpia de fisiosorção pode ser medida pelo monitoramento da elevação da temperatura de uma amostra de capacidade calorífica conhecida. Valores típicos são da ordem de  $20 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Essa variação pequena de entalpia não é suficiente para quebrar ligações e, assim, uma molécula fisiosorvida mantém suas características, apesar da possibilidade de estar distorcida devido à presença da superfície.

Na adsorção química as moléculas ou átomos fixam-se à superfície pela formação de uma ligação química covalente, e tendem a encontrar locais que maximizem seu

número de coordenação. A entalpia de adsorção química é muito maior que na adsorção física, e os valores típicos encontram-se na faixa de  $20 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Diferentemente da adsorção física, ocorre completa saturação da superfície por uma camada monomolecular, porém, pode-se observar a formação de outras capas sobre essa por adsorção física. A distância entre a superfície e o átomo adsorvido mais próximo também é tipicamente menor na quimiosorção do que na adsorção física. Outra informação importante é que uma molécula adsorvida quimicamente pode se fragmentar devido à demanda por valências não satisfeitas dos átomos superficiais, e a existência desses fragmentos é uma das razões pelas quais superfícies sólidas catalisam reações.

Um mesmo sistema pode exibir adsorção física numa temperatura e adsorção química numa outra mais elevada (Moore, 1976). A melhor forma para distinguir entre a adsorção química e a adsorção física é através da entalpia de adsorção. Valores mais negativos que  $25 \text{ kJ mol}^{-1}$  são tidos como característicos de adsorção física, enquanto que valores mais positivos que cerca de  $40 \text{ kJ mol}^{-1}$  são tomados como típicos de adsorção química. Entretanto, esse critério não é absoluto e técnicas espectroscópicas que identificam as espécies adsorvidas podem ser utilizadas. Outro dado importante é que a velocidade da adsorção física é consideravelmente maior que a da adsorção química. Isto pode ser explicado, em sua maior parte, porque a adsorção física não requer energia de ativação enquanto a adsorção química a necessita.

Outro mecanismo importante na fixação de água é a condensação, também conhecido com liquefação, que consiste na mudança de fase de vapor para líquido. A condensação normalmente ocorre quando o vapor é arrefecido, mas também pode ocorrer se o vapor for comprimido.

Na condensação capilar a pressão de vapor de saturação da água diminui. Quanto menores forem os poros do material, mais alta será a quantidade de umidade produzida por condensação capilar. Além do tamanho dos poros, o mecanismo depende principalmente da umidade relativa do ar. Quanto maior for a umidade relativa, maiores serão os espaços dos poros do material que poderão ser ocupados pela

condensação capilar. Nesse mecanismo, existem dois modos de condensação da água que são a água adsorvida e a água capilar.

A água adsorvida é formada por moléculas de água que estão fisicamente adsorvidas na superfície dos sólidos na pasta, sob a influência de forças de atração, ou seja, é composta por camadas que condensam sobre a superfície dos poros. Sua quantidade no equilíbrio é função da superfície específica do meio poroso, da afinidade entre o vapor de água e a matriz sólida e as condições higrotérmicas governantes.

A água capilar representa uma fase contínua de líquido que preenche totalmente certos poros do material, estando presente nos poros maiores que 50Å. Pode ser descrita como o volume de água que está livre da influência das forças de atração exercidas pela superfície sólida. Existe uma descontinuidade de pressão na interface da curva que separa a água capilar da fase sólida. Segundo Mehta e Monteiro (1994), a água capilar pode ser dividida em duas categorias: a água em vazios de diâmetro maiores que 50 nm e a água retida por tensão capilar em capilares de 5 a 50 nm.

De acordo com a lei de Kelvin-Laplace, a condensação capilar ocorre nos poros de raios menores que o raio crítico, cujo valor é calculado pela equação:

$$r_c \geq -\frac{2M\sigma \cos \alpha}{\rho_1 RT \ln(UR)} \quad (2.1)$$

Onde:

$r_c$  = raio crítico (m);

$M$  = massa molecular da água (g/mol);

$\Sigma$  = tensão superficial da água (N/m);

$\alpha$  = ângulo de contato entre a água e a superfície do poro (rad);

$\rho_1$  = densidade da água (kg/m<sup>3</sup>);

$R$  = constante universal dos gases (J/mol K);

$T$  = temperatura (K); e

$UR$  = umidade relativa ( $0 < UR < 1$ ).

Para explicar a sucessão dos dois modos de condensação, por capilaridade e por adsorção, considera-se um poro isolado cilíndrico e com perfeita molhabilidade, conforme esquematizado na Figura 2.3.

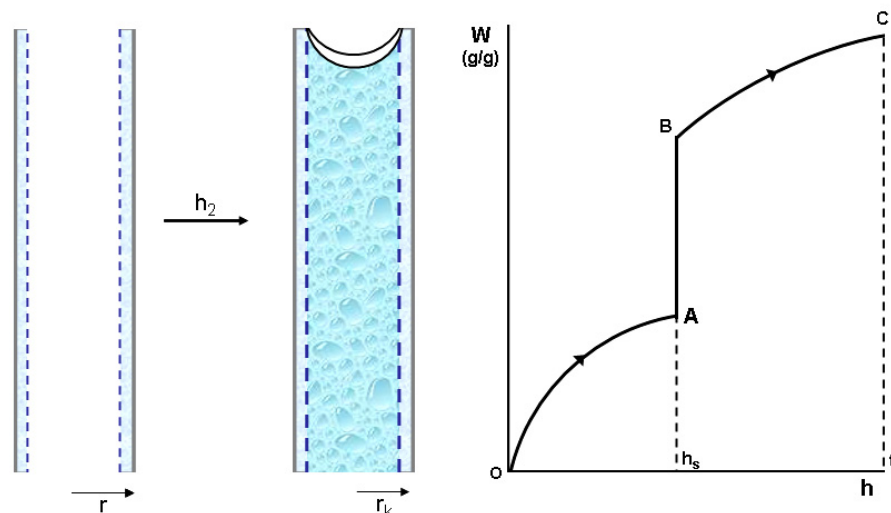


Figura 2.3 - Sucessão de modos de condensação em um poro isolado (Freitas 1992).

Conforme está apresentado nessa figura, partindo-se da umidade relativa nula (ponto O) e aumentando-a progressivamente, os fenômenos ocorrerão como segue:

- do aumento da umidade de O até A há um aumento da camada adsorvida;
- em A, a espessura da camada adsorvida é tal, que o núcleo no centro do poro de raio  $r_k$  é capaz de conter um menisco esférico, ou seja, ocorre a condensação capilar,
- de B até C ocorre o aplainamento do menisco; e
- em C, o menisco é plano e o poro está saturado ( $h=1$ ).

Para separar quantitativamente a água adsorvida da água capilar que compõe o conteúdo total a uma dada umidade relativa foi desenvolvido, em 1951 por Barret, E. P., Joyner, L. G. e Halenda, P. P, o modelo “BJH”, que considera um meio poroso constituído de poros cilíndricos onde são adotadas as seguintes hipóteses:

- não existem formações do tipo de garganta, o meio poroso é assumido como um feixe de poros cilíndricos de raios variados, não existindo conexão entre eles; e
- existe concordância tangencial das interfaces capilares com a camada adsorvida no limite da condensação capilar.

Dessa forma, se o meio poroso é submetido a um incremento de umidade ( $h+\Delta h$ ) tem-se uma classe de raios  $r$  a  $r+\Delta r$  que se preencherá com água capilar. Assim sendo, existirá no interior do poro um núcleo com raio  $r-ea$  capaz de conter um poro capilar com umidade relativa  $h+\Delta h$ . Os poros com raio superior a essa classe terão

apenas um aumento na camada adsorvida, pois  $h+\Delta h$  não é suficiente para provocar a condensação capilar. Desta maneira, o conteúdo total de água associado a um incremento de  $\Delta h$  é:

$$\Delta\theta = \Delta\theta_{cap} + \Delta\theta_{abs} = \frac{\Delta S_r}{2}(r/e_a) + S(r)\Delta e_a \quad (2.2)$$

Onde:

$\Delta S_r$  = superfície lateral desta classe de poros;

$e_a$  = espessura da camada de água adsorvida; e

$S(r)$  = superfície acumulada dos poros com raio maior do que  $r$ .

A capilaridade é a propriedade dos materiais porosos de adsorverem e transportarem água através de sua rede de capilares. Pode-se dizer que essa propriedade é uma consequência da tensão superficial. O fenômeno da capilaridade gera interfaces curvas entre o flúido (água) e o ar contido no interior dos poros, como mostra a Figura 2.4.

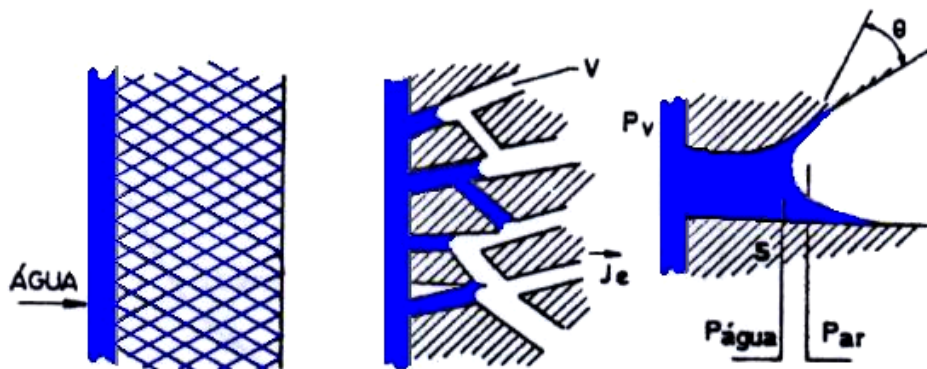


Figura 2.4 – Fenômeno da capilaridade (Freitas 1992).

Na interface entre o líquido e o gás estabelece-se um gradiente de pressões designado por pressões capilar que é função da tensão superficial líquido-ar ( $\sigma$ ), dos raios de curvatura principal ( $R_x$ ) e do ângulo de molhamento ( $\alpha$ ). Logo a pressão capilar é função da temperatura e da umidade, dado que  $\sigma$  varia com a temperatura e  $R_x$  com o teor de umidade conforme apresentado pela Equação (2.3):

$$P_c = P_{ar} - P_{água} = \sigma \cos \alpha \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \cdot \left[ \frac{N}{m^2} \right] \quad (2.3)$$

Quando expressa em metros de coluna de água é denominada de sucção capilar.

$$\psi = \frac{P_c}{\rho_1 g} \text{ (m de } H_2O\text{)} \quad (2.4)$$

Portanto, o desenvolvimento da curva de pressão capilar (sucção) depende da distribuição do raio dos poros e da sua variação, sendo que a sucção é tanto menor quanto maior for o teor de umidade.

Quanto à influência da força gravitacional nas taxas de umidade transportada, para a grande maioria dos materiais de construção, nas suas condições usuais de aplicação, é pequena, não se observando, então, diferenças significativas na absorção de água medida nas situações apresentadas na Figura 2.5. Dessa maneira, as modelagens dos fenômenos de transporte são feitas, em geral, desprezando-se a gravidade (Sato, 1998).

O transporte de massa em materiais de construção ocorre, segundo Hall (1989), com mais freqüência quando expostos à água no estado líquido, segundo três condições:

- Fluxo de massa horizontal, com o transporte de água independente da ação da gravidade;
- Fluxo de massa vertical, com o transporte de água total resultante da adição das forças gravitacional e capilar; e
- Fluxo de massa vertical, com o transporte total resultante da ação das forças gravitacional e capilar, porém, com os efeitos da absorção capilar e da gravidade em sentidos opostos.

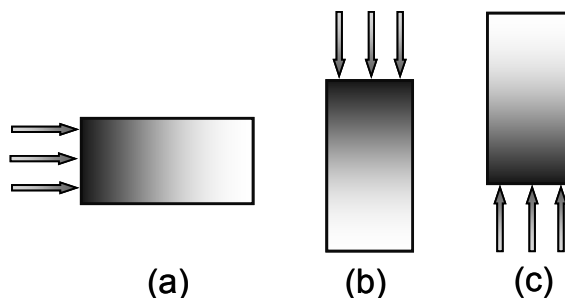


Figura 2.5 – Transporte de água unidirecional em uma amostra de material poroso, conforme as condições (a), (b) e (c) (modificado de Hall, 1989).

### 2.3.1 - Transporte de água pela teoria de poros não saturados

Na teoria de fluxo não saturado, a água é absorvida em um sólido poroso espontaneamente devido a esta diminuir sua energia potencial. A água dentro deste sólido redistribui-se naturalmente a fim de alcançar um potencial energético mais baixo, predominantemente, pela ação de forças capilares (Hall, 1977).

Ainda de acordo com Hall (1977): “O ar que ocupa os poros do material é parcialmente deslocado pela água absorvida e, naquelas superfícies que não são imersas, ocorre evaporação. Por fim, se estabelece um balanço entre a perda por evaporação e a absorção de água. Dessa forma, o fluxo e esta distribuição de água dentro do material se tornam estáveis ou tendem ao equilíbrio. A evaporação ocasiona resfriamento nas superfícies externas e, como resultado, ocorre fluxo de calor dentro do material. O desenvolvimento de gradiente de temperatura modifica o fluxo de água. Sais solúveis dentro do material são progressivamente dissolvidos e depositados na superfície como consequência da evaporação”.

O estudo do transporte de água em meio poroso não saturado tem sido realizado pela combinação da equação da continuidade, na forma diferencial, para a umidade, e a lei de Darcy modificada. A extensão da lei de Darcy para meio poroso não saturado, é:

$$u = -K(\theta)\nabla H \quad (2.5)$$

E a equação da continuidade é dada por:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\nabla u \quad (2.6)$$

Pela combinação da equação de Darcy com a equação da continuidade tem-se a equação diferencial básica para o fluxo em meio poroso não saturado:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \nabla u = \nabla(K(\theta)\nabla H) \quad (2.7)$$

Sendo  $K(\theta)$  a condutividade hidráulica dependente da concentração de água.



A teoria de fluxo não saturado provê suporte teórico para a lei  $t^{1/2}$  de absorção e penetração de água, que reza que a quantidade de massa absorvida por capilaridade varia linearmente em função da raiz quadrada do tempo.

$$\frac{\Delta m}{A} = at^{1/2} \quad (2.8)$$

Onde:

$\Delta m$  = medida de massa ganha no tempo  $t$ ;

$A$  = área da face de entrada do fluxo (seção transversal); e

$a$  = constante característica do material (absortividade).

## 2.4 - SECAGEM

Quando um material é posto em contato com um ambiente cuja temperatura e umidade são constantes, de acordo com Freitas (1992), podem ser distinguidas três fases de secagem com diferentes velocidades e características.

Na primeira fase as forças capilares são capazes de alimentar a superfície do material em água líquida. Durante essa fase a secagem é absolutamente uniforme, isto é, o teor de umidade é constante em qualquer parte do interior do material. A segunda fase é aquela na qual não há mais uma alimentação suficiente da superfície, sendo que a secagem passa a ser efetuada por difusão a partir da frente úmida. Dessa forma, uma camada cada vez mais seca de material é atravessada, havendo por conseqüência uma diminuição do fluxo. Para materiais secos por duas faces paralelas, essa fase prossegue até que essas duas faces se juntem. Já na terceira fase, que é externamente lenta, ocorre o equilíbrio higroscópico.

Quando é feita a secagem natural, é pouco nítida a passagem da primeira para a segunda fase. Contudo, quando a secagem é feita em estufa à temperatura de 75°C e umidade relativa de 5%, a passagem dessas fases fica bem nítida.

Dependendo da umidade ambiente e da sua porosidade, a pasta de cimento é capaz de reter uma grande quantidade de água. A água pode estar presente na pasta de várias

formas e é possível classifica-la de acordo com o grau de dificuldade ou facilidade com o qual ela pode ser removida (Mehta e Monteiro, 1994):

- água capilar: a água presente em vazios de diâmetro maiores que 50 nm pode ser considerada água livre, uma vez que sua remoção não causa variação de volume, e a água retida por tensão capilar em capilares de 5 a 50 nm, cuja remoção pode causar retração do sistema;
- água adsorvida: as moléculas de água que estão fisicamente adsorvidas na superfície dos sólidos na pasta, sob a influência de forças de atração;
- água interlamelar: água associada à estrutura do C-S-H. A água interlamelar é perdida somente por secagem forte, com umidade relativa abaixo de 11%. Nesse caso, a estrutura do C-S-H retrai consideravelmente quando a água é perdida; e
- água quimicamente combinada: é a água que é parte integrante da estrutura de vários produtos hidratados do cimento. Essa água não é perdida na secagem a 100°C, e é liberada quando os produtos hidratados são decompostos por aquecimento, em temperaturas superiores a 100°C.

#### 2.4.1 - Concentração de água

A concentração de água em materiais porosos é definida, comumente, pela pesagem da amostra molhada e seca de material, sendo a concentração normalmente expressa como uma fração da massa de material seco. A concentração de água da amostra expressa com base no seu peso pode ser determinada pela seguinte equação:

$$\theta_w = \frac{m - m_d}{m_d} \quad (2.9)$$

Onde:

$\theta_w$  = concentração de água da amostra;

$m$  = massa inicial da amostra; e

$m_d$  = massa do material no estado seco.

A concentração de água pode ser definida, de forma alternativa, como a proporção do volume de água contido, pelo volume da amostra de material ensaiado. Dessa forma, a concentração de água, em volume, da amostra é determinada usando a Equação (2.10):

$$\theta = \frac{\theta_w - \rho_d}{\rho} \quad (2.10)$$

Onde:

$\theta$  = concentração de água;

$\rho$  = volume da amostra; e

$\rho_d$  = densidade do material no estado seco.

Comumente, se define uma concentração de água adimensional, denominada de concentração de água normalizada, através da equação abaixo:

$$\theta_r = \frac{\theta - \theta_0}{\theta_1 - \theta_0} \quad (2.11)$$

Onde:

$\theta_r$  = concentrações de água normalizada; e

$\theta_0$  e  $\theta_1$  = concentrações de água máxima e mínima alcançadas e  $0 \leq \theta_r \leq 1$ .

Usualmente  $\theta_0$  é a concentração de água no estado seco e  $\theta_1$  a concentração de água na saturação.

## 2.5 - PERDA DE ÁGUA DA ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

Sabendo-se que a retração e o desempenho mecânico da argamassa estão intimamente ligados à quantidade de água presente no material no estado fresco e no endurecido a cada instante, se faz necessário inserir aqui uma discussão sobre a perda de água da argamassa de revestimento.

No processo de produção de componentes construtivos à base de ligantes hidráulicos emprega-se geralmente uma quantidade de água superior à necessária para que ocorram as reações químicas de hidratação. Esse fato ocorre principalmente no caso das argamassas, onde a quantidade utilizada de água no processo de produção é bem maior do que a usada para outros materiais como, por exemplo, o concreto.

No estado saturado após a mistura, a água em excesso permanece em estado livre no interior do componente. Na argamassa fresca a água existente faz parte de um sistema

de poros saturados de água e partículas em suspensão, cujo raio médio é variável ao longo do tempo, à medida que parte desta água, logo depois da aplicação é submetida à sucção pela base, quando aplicada diretamente sobre substrato poroso, e também perdida para o meio ambiente por evaporação, logo após a mistura. Nesse contexto, Paes (2004) coloca que essa água encontra-se, de certa forma, mais restringida no interior do sistema, em comparação com a água livre.

Neste item é importante lembrar que a retenção de água corresponde à propriedade que confere à argamassa a capacidade de não alterar seu comportamento reológico de modo a comprometer a propriedade de trabalhabilidade, mantendo-se aplicável por um período máximo de tempo quando sujeita às solicitações que provoquem perda de água, sejam elas por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação.

### **2.5.1 - Evaporação**

A argamassa de revestimento logo após a mistura, quando exposta a um ambiente de umidade relativa abaixo de 100%, sofre a ação dos agentes climáticos. A evaporação de água da argamassa para o meio ambiente tende a esvaziar progressivamente os capilares da argamassa, gerando uma pressão negativa, até que grande parte da água intersticial seja evaporada, causando contração, que ocasiona tensões internas que dependem da sua duração, da resistência à tração, do módulo de deformação do material cimentício.

É necessário colocar que, no estado fresco, o diâmetro médio dos capilares depende principalmente da composição da mistura, onde a proporção água/materiais secos e o teor e finura dos materiais constituintes exerce maior interferência.

Détriché e Maso (1986) citam como fatores intervenientes na retenção de água das argamassas, sujeitas à perda de água por evaporação:

- as condições climáticas para a cura, as quais regulam o equilíbrio higrotérmico;
- a natureza física da mistura (proporção de aglomerantes e finura da fração de finos) o que determina a característica inicial dos microporos;

- a natureza química da mistura (especialmente dos aglomerantes, que será responsável pela cinética da evolução da rede de capilares); e
- a espessura das camadas de revestimento. Quanto maior for a espessura, maior será a capacidade de retenção.

A presença de partículas finas melhora a retenção de água de misturas como argamassas e pastas. O aumento do teor de finos não só aumenta a área total de contato das partículas sólidas com a água, fazendo com que haja maior quantidade de ligações entre dois componentes da mistura, como também diminui os espaços a serem percorridos pela água, dificultando sua remoção. Dessa forma, na comparação de misturas de relação aglomerante/agregado diferentes, à medida que diminui o teor de finos, maior será a perda de água por secagem ao longo do tempo.

Bastos (2001) cita que características do aglomerante como sua natureza e finura interferem no processo de secagem. Para os aglomerantes de maior finura resulta, pelo mesmo raciocínio feito para o teor de aglomerantes, no aumento da área de contato entre a água e o aglomerante e na diminuição do diâmetro dos capilares da argamassa e, assim, no estado fresco a retenção de água é maior. Havendo, ainda, maior reatividade por parte do aglomerante de maior finura, maior quantidade de água combinada significa menor quantidade de água disponível para a evaporação em determinada idade. Quanto à natureza do aglomerante, a cal, de maior finura que o cimento, permite a obtenção de pastas de maior capacidade de retenção inicial de água.

Cabe ressaltar que, à medida que se processa a hidratação dos aglomerantes, ocorre uma redução da velocidade de evaporação. Esse fato se dá devido há uma redução do diâmetro médio dos capilares proporcionalmente ao movimento da água em direção ao ambiente (Paes e Gonçalves, 2005).

Com relação à área de exposição, sabe-se que, quanto maior for a área pela qual as moléculas podem escapar, maior será a rapidez da evaporação. Bastos (2001) chama a atenção para o fato de que uma argamassa de revestimento possui uma superfície muito extensa na fachada dos edifícios em relação ao volume de material aplicado, dessa forma, com a ação do sol e do vento, a argamassa está sujeita à perda intensa de água por evaporação, e adverte que a rápida perda de água da argamassa compromete a

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

Para a avaliação da espessura de revestimento e sua influência no aparecimento de fissuras nas primeiras idades, Medeiros e Sabbatini (1994) realizaram um trabalho experimental, chegando à conclusão de que a espessura dos revestimentos não interfere diretamente no surgimento de fissuras nas primeiras idades (até 30 dias após a execução), e para isso, deve ser levado em conta a importância da execução do revestimento com mais de 30 mm em várias camadas de 25 mm e a obediência aos intervalos necessários entre camadas.

Com a diminuição da espessura da camada de argamassa a evaporação aumenta, em velocidade e em intensidade, desde as primeiras horas até idades mais avançadas, e constataram, como regra geral, que as camadas de menor espessura são aquelas que atingem os maiores valores percentuais de perda de água e mais rapidamente (Détriché et al., 1983). Essa perda de água pode significar, em poucas horas, a secagem máxima por evaporação, enquanto outra camada, mais espessa, sofre apenas secagem superficial. Deve-se salientar que a secagem, para a camada de maior espessura, prosseguirá por mais tempo (Paes, 2004).

A rapidez com que a água evapora depende, também, de vários fatores atmosféricos. Um aumento de temperatura faz as moléculas se moverem mais depressa, proporcionando maior energia cinética e podem, assim, passar mais facilmente pela camada superficial e escapar, mas pode também chocar-se com moléculas do ar e recuar para o líquido, pois o ar atua como uma cobertura que se opõe à evaporação, e, dessa forma, a rapidez de evaporação diminui quando a pressão atmosférica aumenta. Da mesma forma, comenta Bastos (2001) que o esvaziamento dá-se pelo movimento de ar saturado, induzido pela diferença de pressão existente entre o interior da argamassa e o meio externo.

Outra causa para a diminuição da velocidade de evaporação é o aumento da umidade. Num dia de ar parado a água evaporada fica perto da superfície, aumentando a umidade

relativa e impedindo a evaporação. O vento leva para longe esse vapor de modo que a superfície seca mais depressa.

Nas primeiras horas após a mistura e aplicação da argamassa, as condições de exposição são determinantes para a forma como a secagem prosseguirá após este período. Nos períodos iniciais, onde há uma maior quantidade de água livre na argamassa para evaporar, sob condições mais severas de exposição, a perda de água ocorre mais intensamente em velocidade e quantidade.

Quando se protege a argamassa da evaporação durante a fase plástica, ou seja, até que parte da água de amassamento passe à condição de água combinada devido à formação de compostos hidratados da pasta de cimento, se disponibiliza menos água para evaporação. Conseqüentemente, com a estruturação progressiva da pasta de cimento devida à hidratação, ocorre uma diminuição dos espaços internos percorridos pela água, o que passa a dificultar ainda mais a sua remoção.

Vale destacar, também, a relação existente entre a perda de água por evaporação e as condições climáticas, tais como a umidade relativa do ar, a temperatura ambiente e a velocidade dos ventos. Na prática, essas condições ambientais assumem extrema importância.

Atualmente, para uma melhor padronização do clima brasileiro, há um zoneamento bioclimático para o território nacional. Neste sentido foi desenvolvida a Norma Brasileira de Desempenho Térmico para Edificações (ABNT NBR 15220:2005), levando em conta as diferentes características climáticas do país. A Parte 3 estabelece um zoneamento bioclimático para o território brasileiro, com divisão em oito zonas, relativamente homogêneas quanto aos tipos de clima existentes, conforme mostra o mapa da Figura 2.6. O Brasil, por suas dimensões apresenta uma grande diversidade de climas, razão pela qual os projetos devem responder de maneira diferente em cada local do país. O zoneamento é uma tentativa de agrupar climas semelhantes e estabelecer diferentes características da construção em função desses ambientes. Deve-se ressaltar que o Distrito Federal localiza-se, de acordo com o zoneamento bioclimático brasileiro, na ZONA 4 (Z4), que representa 2% da área do território nacional.

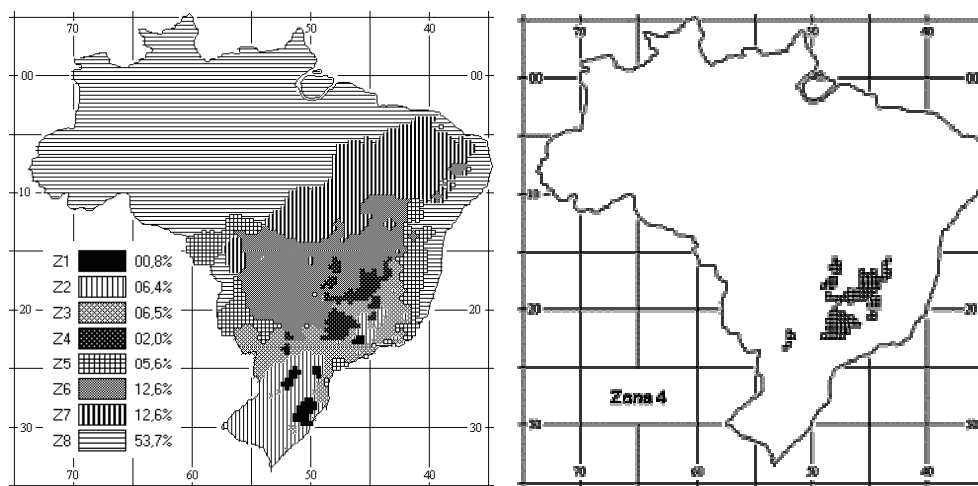


Figura 2.6 – Mapa com o zoneamento bioclimático brasileiro (ABNT NBR 15220-3:2005).

No Brasil, onde, de acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, a umidade relativa média máxima anual da maior parte do seu território, ou seja, toda a região sudeste e grande parte das regiões centro-oeste, sul e nordeste, ficam em torno de 60%. Entretanto, parte dos Estados do Piauí, Ceará e norte da Bahia apresentam umidade média máxima anual entre 40% e 50% e, na região norte, a umidade média máxima anual fica acima dos 80%. Os valores de temperatura média máxima anual variam entre 30°C a 33°C nas regiões norte, nordeste e centro-oeste, podendo chegar a 36°C nos meses de agosto e setembro na região centro-oeste. Na região sudeste a temperatura máxima anual varia entre 27°C e 30°C, podendo atingir 33°C nos meses de janeiro e fevereiro. A região sul é a que apresenta a menor máxima anual com variações de temperatura entre 21°C e 24°C, sendo que nos meses de janeiro e fevereiro pode atingir 30°C.

A velocidade média dos ventos predominantes em grande parte do Brasil, segundo dados do Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE), é menor que 5,0 m/s. As maiores velocidades de ventos são verificadas na região nordeste e no extremo norte da região norte, com valores entre 5,0 m/s e 8,5 m/s.



### **2.5.2 - Sucção do substrato**

As argamassas de revestimento demandam características, exigências e definições completamente específicas, e que, por sua vez, estão diretamente relacionadas à movimentação de água entre a argamassa no estado fresco e o substrato absorvente. Para isso, a argamassa deve apresentar características adequadas de trabalhabilidade, consistência, plasticidade, coesão e tixotropia com fluidez necessária à execução do revestimento, assim como boa capacidade de retenção de água e adesão. Essas características das argamassas, quando em contato com o substrato poroso, serão, possivelmente, as principais responsáveis pelo desempenho dos revestimentos, podendo influir em problemas sérios que estes possam vir a apresentar, tais como: retração, fissuração, descolamento, manchas e outros (Paes et al., 2003).

Nos momentos pós-aplicação da argamassa de revestimento, ou seja, quando a argamassa no estado fresco entra em contato com o substrato, existe um fluxo no sentido do substrato causado pelas forças capilares dos poros do substrato (Brocken et al., 1998). A movimentação de água se processa logo que a argamassa é colocada em contato com o substrato, cujos capilares estão totalmente secos (Hall, 1977) ou em outra condição, não saturada, que permita o fluxo de água da argamassa para o substrato. Os raios médios dos capilares da argamassa, em geral, são superiores aos dos capilares do substrato, portanto, o movimento de água se efetua no sentido da argamassa para o substrato. Essa absorção é acompanhada de um aperto mecânico das partículas sólidas da argamassa pela ação da depressão dos capilares, que se traduz por uma retração quase imediata da camada de argamassa pela redução dos poros (Detriché e Maso, 1986).

De acordo com Groot (1988), a quantidade de água removida e a de água que ficou na argamassa exercem influência significativa nas propriedades do revestimento endurecido, uma vez que o aglomerante desempenhará o seu papel em função do conteúdo de água resultante após a remoção por absorção e evaporação. A perda de água por sucção da base, nos primeiros minutos pode representar 50 a 60% da perda total de água, dependendo da combinação entre o substrato e argamassa.

Quando há absorção excessiva de água das argamassas pelo substrato associada a uma elevada taxa de evaporação, pode ocorrer um retardo localizado nas reações de hidratação do cimento, podendo formar regiões com materiais de diferentes características e ocasionar retração (Detriché e Maso, 1986). Ainda com relação ao comprometimento da hidratação do cimento pela sucção excessiva da água da argamassa por parte de alguns tipos de substratos, cabe lembrar que a quantidade de água nas argamassas frescas é bem superior ao necessário para que ocorra a completa hidratação do cimento, uma vez que esse excesso é necessário para que a argamassa seja trabalhável. Conforme exposto, surge a idéia de que é pouco provável que a argamassa perca água de tal forma, salvo em situações extremas, que provoquem condições críticas de modo a prejudicar a hidratação do aglomerante. O que pode ocorrer é que, como a velocidade de absorção de água é variável com o tempo, sendo máxima no início do contato da argamassa com o substrato, se este tiver elevada capacidade de absorção de água, aliado às condições ambientais desfavoráveis, podem vir a ocorrer, nas primeiras horas, microfissuras na interface devido à retração plástica que, por sua vez, diminuem a aderência (Lawrence e Cao, 1987).

Esse tipo de situação pode ser minimizado por meio de algum tratamento superficial do substrato, cujo objetivo seja regularizar a absorção de água ou aumentar a rugosidade superficial (Carasek et al., 2001).

Os principais efeitos da perda de água na argamassa fresca por sucção é o adensamento mecânico entre as partículas sólidas por depressão capilar e o aumento da concentração de íons dissolvidos que acarreta uma aceleração na cristalização dos hidratos. Como resultado, ocorre um rápido acréscimo na rigidez da pasta e uma considerável contração de volume da argamassa nas primeiras horas após a aplicação (Détriché e Maso, 1986).

Dentre os diferentes tipos de substratos sobre os quais são aplicados os revestimentos, destacam-se, principalmente, as alvenarias e os elementos estruturais em concreto. Com relação às alvenarias empregadas que compõem as vedações verticais, tem-se uma diversidade grande de materiais, sendo os mais correntemente empregados os blocos cerâmicos, os de concreto, concreto celular e os sílico-calcários. Esses substratos

podem ser caracterizados, dentre outras, pela porosidade, estrutura e distribuição dos tamanhos dos poros, pela capacidade de absorção de água e pela textura superficial de contato, seja ela lisa ou rugosa. Essas características influem na velocidade e quantidade da água transportada da argamassa fresca para o substrato e, conseqüentemente, na alteração da microestrutura da argamassa na região de contato (Paes, 2004).

Détriché et al. (1983) e Détriché e Maso (1986) descreveram um modelo do conjunto argamassa/base em que ambas as partes possuem uma rede de tubos capilares abertos paralelos e perpendiculares à superfície de contato (interface argamassa-base). Por meio desse modelo, esses autores tiraram diversas conclusões teóricas, comprovadas experimentalmente. Pressupondo de que a base, no momento do contato com a argamassa no estado fresco, está seca e tem o raio médio dos capilares menor do que o raio médio dos capilares da argamassa, que estão saturados. Nessas condições, a água dos capilares da argamassa vai progressivamente passando para a base, movida por uma pressão motriz resultante da diferença entre a sucção exercida pela base e a retenção da argamassa. Ainda, segundo o modelo, a base tem capilares com diâmetro inalterado ao longo do tempo, mas a argamassa, por sua vez, tem o diâmetro médio dos poros reduzido com o tempo, por causa da absorção do substrato e da hidratação do cimento. Deve-se salientar, ainda, que esses estudos foram realizados com argamassas de cimento e areia aplicadas sobre bases de diferentes capacidades de sucção, e duas importantes conclusões podem ser destacadas: A primeira é que, em cada intervalo de tempo, o volume de água absorvido pela base é função do número de capilares de raio menor do que o raio dos capilares da argamassa. No entanto, esse número decresce progressivamente à medida que os capilares preenchidos com água vão sendo eliminados do fenômeno de sucção. A segunda diz que bases com poros de diâmetro médio maior têm sucção inicial mais forte do que bases de poros menores, pois observou-se que substratos com capilares mais finos apresentam, só após seis horas do contato com a argamassa, uma sucção total maior do que bases com capilares mais grossos.

O substrato, por meio de sua capacidade de absorção de água, é considerado o maior responsável pelo transporte de água nos momentos de pós-aplicação da argamassa.

Essa absorção é um mecanismo rápido e de curta duração e influencia no processo de endurecimento da argamassa e nas características mecânicas dos revestimentos (Ouzit, 1990), principalmente na resistência de aderência à tração, visto que maiores valores de resistência de aderência são, em geral, atribuídos à maior penetração da pasta aglomerante na estrutura porosa do substrato (Groot, 1993).

Carasek (1996) completa que é de maior interesse a porosidade aberta da base, de diâmetro compreendido entre 0,1 e 20  $\mu\text{m}$ , com capacidade potencial de sucção da água das argamassas. Mas, a interação poros da argamassa com os poros da base é complexa, pois os poros capilares que contribuem para a sucção de água podem não contribuir para a remoção de água da argamassa.

Outro acontecimento que chama atenção em alguns estudos, como os de Détriche et al. (1983); Han e Kishitani (1984) e Détriche e Maso (1986), é de que a absorção excessiva de água das argamassas, exercida pelos substratos com elevada absorção inicial, que afeta o transporte de água da argamassa e a velocidade das reações químicas de hidratação dos componentes anidros do aglomerante. Como consequência desse fato, Groot (1988) explica que há uma diminuição da resistência de aderência, uma vez que, a quantidade de água removida juntamente com a que ficou na argamassa possuem efeito significativo nas propriedades do revestimento endurecido, pois o aglomerante desempenhará o seu papel em função do conteúdo de água após a sucção. Nesse sentido, Paes (2004) comenta que a movimentação da água restringida contida na argamassa fresca para o substrato é bem mais complexa do que quando comparada com a água livre.

A absorção de água livre não é impedida por vários tipos de forças que trabalham em uma argamassa, sendo estas: forças capilares, adsorção física pelos componentes da argamassa e, em fase posterior, a ligação química da água devido à evolução na hidratação do cimento. Desse modo, outro parâmetro para descrever o comportamento da absorção de água livre de tijolos e outros materiais de construção foi proposto por Hall et al. (1980), denominado por eles de “*sorptivity*” e que vem sendo designado, em trabalhos anteriores, como absorvidade (S), podendo ser calculada por meio da

Equação 2.13, proveniente de simplificações da equação modificada de Darcy para fluxo de água em meio não saturado.

$$i = S \cdot t^{1/2} \quad (2.12)$$

Onde:

$i$  = volume acumulado de água absorvido por unidade de área da face de entrada do fluxo ( $\text{mm}^3/\text{mm}^2$ );

$S$  = coeficiente de absorção de água, “absortividade” ( $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1/2}$ ); e

$t$  = tempo (min).

A determinação da absortividade pode ser realizada experimentalmente a partir de simples pesagens e construindo-se uma curva obtida da declividade da reta traçada a partir dos pontos de interseção do gráfico  $i \times t^{1/2}$ , onde  $i$  é a razão entre a massa acumulada de água absorvida e a área da face de entrada do fluxo, que, para intervalos de tempo curtos, em relação ao período necessário para a saturação dos corpos-de-prova, é uma reta. Desse modo, a absortividade é calculada como sendo o coeficiente angular dessa reta, que pode ser vista como uma grandeza que avalia indiretamente a velocidade do fluxo de água para o interior da microestrutura nos instantes iniciais.

### 2.5.3 - Ação conjunta evaporação e sucção

Na maioria dos casos, nas primeiras horas após o contato entre a argamassa e o substrato poroso, a perda de água por sucção é mais intensa do que a evaporação. Esse acontecimento está ligado ao fato de que após a aplicação da argamassa sobre substrato poroso ocorre a diminuição da fração de água perdida por evaporação, mas aumenta a perda de água total devido à atuação dos dois fatores em conjunto. Analisando de outra forma, pode-se dizer que as argamassas aplicadas sobre bases não porosas ou pouco porosas são mais sensíveis à ação do meio ambiente quanto à perda de água inicial por evaporação (Détriché et al., 1983 e Détriché e Maso, 1986).

Em condições usuais de obra, a absorção capilar da base praticamente se anula entre duas e três horas após a aplicação da argamassa, mas a evaporação continua após este

período (Détriché et al., 1985). Quando um material poroso permanece exposto por tempo suficiente a condições constantes de umidade e temperatura, devido ao fenômeno da difusão, seu teor de umidade acabará se estabilizando, atingindo então a umidade higroscópica de equilíbrio desse material. Essa umidade depende da natureza e quantidade de capilares presentes no material, assim como da temperatura e umidade do meio ambiente.

Nesse mesmo sentido, Thomaz (1989) afirma que as forças de sucção são inversamente proporcionais às aberturas dos poros. Dessa maneira, quando dois materiais diferentes são colocados em contato, o material de poros mais fechados, teoricamente, absorverá água do material com poros mais abertos. Na prática, os materiais normalmente contêm poros de variadas aberturas, sendo o sentido de percolação da água através dos mesmos determinado pela diferença do teor de umidade do material. Devido a esse fato, torna-se extremamente difícil estabelecer o sentido da percolação da água entre os materiais. Dentro desse contexto, Paes (2004) coloca que o fluxo de água entre os dois sistemas (absorção pelo substrato e evaporação) depende do diâmetro dos poros do substrato, do conteúdo de água da argamassa, que é variável ao longo do tempo, das condições de evaporação e do grau de colmatação dos poros da argamassa.

Devido à forma de exposição severa que o revestimento de argamassa é submetido, toda a avaliação das potencialidades desse tipo de material quanto à variação de massa, retração e desenvolvimento de propriedades mecânicas deve passar não só pela caracterização do material isoladamente, sem considerar sua interação com outras partes da construção, como também pelo estudo do seu desempenho considerando sua aplicação no substrato e, também, o meio. A capacidade de sucção da base, o maior ou menor poder de retenção de água da argamassa e as condições climáticas são, portanto, fatores a serem analisados conjuntamente em estudo que simula uma situação real de aplicação da argamassa.

## 2.6 - FENÔMENOS DE RETRAÇÃO

Retração é o fenômeno que está associado ao processo de redução de volume aparente que sofrem as pastas de cimento, as argamassas e os concretos antes, durante e depois da pega, quando expostos a condições de secagem ambiental, sem que haja qualquer tipo de carregamento. Deve-se lembrar que a perda de água é considerada a principal causa da retração quando não se leva em consideração o efeito de contração térmica.

De uma forma geral, o efeito físico da retração está sempre associado a uma deformação na estrutura da pasta de cimento hidratada, decorrente de fenômenos de diferentes naturezas, contribuindo, cada um, com uma parcela diferente para a deformação externa total do compósito de cimento (Gagné et al.,1999). Ligado a esse fato, Aïtcin (2000) coloca que seria melhor falar em retrações, uma vez que a deformação medida é resultado de vários tipos de retração que podem ocorrer ao mesmo tempo, em mais de uma fase da existência do compósito cimentício.

A retração pode ser de diversas naturezas e pode ocorrer, no tempo, em mais de uma fase da existência do compósito de cimento. Além disso, conforme a ligação existente entre o compósito e outro componente ou elemento da construção, a retração pode ser impedida de ocorrer livremente. Essa e outras considerações levam a uma classificação dos vários tipos de retração por grupos, identificando o fenômeno quanto a estado físico da mistura (retração plástica ou no estado fresco; retração no estado endurecido), à natureza (retração por perda de água para o meio; retração por hidratação ou química; retração autógena; retração por carbonatação; retração térmica) ao grupo de restrição (retração livre; retração restringida) e a permanência (retração reversível; retração irreversível) (Bentur et al., 1979; Taylor, 1992; Aïtcin, 2000; e Bentur 2002).

A extensão da retração depende de vários fatores, incluindo as propriedades dos materiais, temperatura e umidade relativa do ambiente, a idade na qual o material é submetido ao ambiente seco e o tamanho do elemento construtivo.

Mehta e Monteiro (1994) afirmam que quando os produtos cimentícios recém-endurecidos são expostos à temperatura e à umidade do ambiente, eles geralmente sofrem contração térmica (deformação de contração associada ao

resfriamento) e retração por secagem (deformação de retração associada com a perda de umidade). Nesse ponto, é importante frisar que a retração total corresponde a uma contração volumétrica, mas tornou-se usual medi-la linearmente na maioria dos métodos de ensaios laboratoriais.

### **2.6.1 - Variações dimensionais causada pela movimentação higroscópica**

Os materiais porosos que constituem os componentes e elementos da construção estão sujeitos a variações dimensionais, tendo como causa a perda ou ganho de umidade necessária ao equilíbrio higrotérmico entre a base e o ambiente a uma dada temperatura. Essas variações no teor de umidade podem provocar movimentações reversíveis ou irreversíveis, dependendo basicamente da matéria-prima utilizada na fabricação dos componentes e do processo de fabricação.

As movimentações irreversíveis são aquelas que ocorrem, geralmente, logo após a fabricação do material. Em outras palavras, a retração irreversível ou permanente é a parcela da retração não recuperada em ciclos de molhagem e secagem. A maior parte dessa retração ocorre na primeira secagem e pode ocorrer em parcelas menores após cada secagem do ciclo. Essa irreversibilidade se dá devido às ligações químicas ocorridas entre as partículas sólidas na primeira secagem (Mehta e Monteiro, 1994; Powers, 1968).

As movimentações reversíveis ocorrem por variações do teor de umidade do material, ficando delimitadas a certos intervalos, mesmo no caso de secar ou saturar completamente o material (Thomaz 1989). De forma geral, para os materiais de construção que apresentam contração inicial por secagem os movimentos irreversíveis são superiores aos reversíveis.

Baía e Sabbatini (2004) colocam que os componentes de alvenaria em cerâmica, por exemplo, apresentam movimentos irreversíveis de expansão e os blocos de concreto apresentam movimentos irreversíveis de retração. Os efeitos dessas variações são as manifestações das fissuras e o deslocamento da camada de revestimento. Para alguns



concretos ocorre uma contração inicial por perda da água em excesso utilizada na sua fabricação, devendo ser diferenciada da retração sofrida pelas reações químicas que ocorrem entre o cimento e a água. Completada esta contração inicial, o material, sujeito a diferentes teores de umidade, apresenta movimentações que ficam delimitadas dentro de um determinado intervalo, ou seja, mesmo que se consiga saturar este concreto completamente, ele jamais retornará ao seu volume inicial. Dessa forma, pode-se dizer que a retração reversível é a parcela da retração recuperada, dimensionalmente, com o molhamento da pasta de cimento após a secagem.

Na Tabela 2.3 são apresentados alguns valores das movimentações higrotérmicas, determinada pelo *Building Research Establishment* (BRE), e também, valores de coeficientes de dilatação térmica e de módulo de deformação para alguns compósitos à base de cimento.

Tabela 2.3 – Propriedades higrotérmicas de alguns compósitos à base de cimento (adaptada de BRE, 1979).

| Material<br>(compósitos à base<br>de cimento) | Coeficiente de<br>dilatação<br>térmica linear<br>( $^{\circ}\text{C}\cdot 10^{-6}$ ) | Movimento devido à umidade<br>(%) |                             | Módulo de<br>deformação<br>( $\text{kN}/\text{mm}^2$ ) |
|---|--|-----------------------------------|-----------------------------|--|
|   |  | Reversível                        | Irreversível<br>(contração) |  |
| Argamassa                                     | 10 - 13  | 0,02 - 0,06                       | 0,04 - 0,10                 | 20 - 35  |
| Concreto                                      | 10 - 13  | 0,03 - 0,10                       | 0,03 - 0,08                 | 15 - 36  |
| Concreto celular                              | 8  | 0,02 - 0,03                       | 0,07 - 0,09                 | 1,4 - 3,2  |

Deve-se chamar a atenção para o fato de que o módulo de deformação representa a capacidade que um determinado corpo tem de deforma-se, sem se romper, sob um determinado nível de tensões, pois se coloca que essa propriedade está intimamente ligada ao fenômeno patológico de fissuração dos revestimentos, acrescentando, ainda, que representa uma medida capaz de indicar se haverá ou não fissuração dos revestimentos sob determinadas condições.

## 2.6.2 - Efeito da retração no revestimento

Inicialmente cabe ressaltar que a ocorrência de alguns fenômenos patológicos nos revestimentos está diretamente relacionada à retração dos compósitos à base de cimento, e que as fissuras desenvolvidas em argamassa de revestimento manifestam-se por solicitações higrotérmicas e, sobretudo, por retração.

É importante frisar que a retração na secagem ocorre devido à evaporação e absorção pelo substrato da água de amassamento da argamassa e, também, pelas reações de hidratação e carbonatação dos aglomerantes. Os principais fatores que influenciam as movimentações higroscópicas desse produto ocorrem basicamente em função das características dos aglomerantes e do agregado, do proporcionamento dos materiais constituintes da mistura, da espessura, do intervalo de tempo de sarrafeamento e desempenho, e das condições de exposição e cura do produto.

As argamassas com um alto teor de cimento estão mais sujeitas às tensões causadoras do aparecimento de fissuras, prejudiciais durante a secagem, além das trincas e possíveis deslocamentos da argamassa já no estado endurecido. De acordo com Mehta e Monteiro (1994) para um dado consumo de cimento, um aumento na relação água/cimento ocasiona aumento na retração por secagem. Em geral, ao elevar o teor de pasta nas argamassas ocorre um acréscimo nas deformações dependentes da umidade.

A simples presença do agregado na argamassa faz surgir o efeito da restrição da retração, principalmente nos primeiros instantes após a mistura. Havendo somente esse tipo de restrição, raramente ocorre fissuração se o atrito com a base for mínimo nas primeiras horas. Além disso, o teor de agregado na mistura e a sua composição granulométrica determinam a quantidade de pasta da argamassa, sendo que a pasta é a parte da argamassa potencialmente responsável pela retração (Bastos, 2001).

Do ponto de vista da retração, o teor e a composição granulométrica ideais do agregado são aqueles que permitem a redução da quantidade de pasta, com manutenção de trabalhabilidade adequada ao uso, e níveis de propriedades mecânicas no estado endurecido que garantam o bom desempenho da argamassa. Os agregados com elevado

teor de finos, impurezas orgânicas ou aglomerados argilosos favorecerão o surgimento de fissuras de retração da argamassa, além de provocarem outras patologias.

Um dos problemas mais sérios quanto à demanda de água das argamassas, de acordo com Bauer e Carasek (1997), relaciona-se à fissuração por retração plástica e retração por secagem. As fissuras de retração plástica ocorrem no estado fresco (freqüentemente antes do tempo de início de pega do cimento), basicamente quando o gradiente de evaporação (associação de temperatura e umidade relativa do ar que condiciona a evaporação de água) é tão intenso que a velocidade de evaporação da água é superior à velocidade com que a água aflora junto à superfície do revestimento. Nesse momento cabe ressaltar que não existe um consenso sobre o limite onde termina a retração plástica e começa a retração por secagem. Segundo Aïtcin et al. (1997), a retração plástica termina com o início da pega do cimento.

As operações de acabamento superficial do revestimento (“sarrafeamento e desempenho”), uma vez que aceleram a exsudação, exerce influência no surgimento de fissuras, dado ao fato que, ao serem realizadas precocemente aumentam a quantidade de água próxima à superfície do revestimento, incrementando o processo. Détriché et al. (1981) comentam que para diminuir a probabilidade da ocorrência dessas fissuras no revestimento a argamassa deve possuir boa retenção de água.

Durante o endurecimento da argamassa, a temperatura e a umidade relativa do ar têm uma influência significativa. Na região de Brasília-DF, na época de seca (maio a outubro), constatam-se condições extremamente críticas em relação à evaporação de água. A observação de obras revela grande incidência de fissuração em argamassas, tipicamente fissuras de retração plástica. Bauer e Carasek (1997) sugerem para solucionar ou amenizar esses problemas (reduzindo o índice de fissuração para valores toleráveis), buscar reduzir significativamente a demanda de água dos traços. Em relação aos agregados, a preocupação incide principalmente sobre a diminuição da parcela fina da areia, ocasionando uma redução da superfície específica a ser molhada. Selmo (1989, 1996) propõe a relação “areia/finos” (conhecida como parâmetro “D”) em massa, como parâmetro de controle da retração e trabalhabilidade (desde que não

ocorra significativa alteração da curva granulométrica). Nesse sentido, ao se diminuir esta relação, se aumenta a possibilidade de retração com fissuração da argamassa.

Deve-se colocar que, na maioria das vezes, as fissuras originadas pela retração plástica ocorrem apenas na superfície do revestimento. Mesmo dessa forma, esse fato não deixa de ter grande importância, uma vez que, de acordo com Dal Molin (1998), as fissuras atingirem o usuário sob o ponto de vista de conforto, salubridade e satisfação psicológica.

Com relação à espessura, as camadas de argamassa que são aplicadas em espessuras maiores, superiores a 25 mm, estão mais sujeitas a sofrerem retração na secagem e apresentarem fissuras. Para estimar o risco de fissuração causado pela retração se faz necessário avaliar conjuntamente diferentes propriedades da argamassa como a resistência à tração e o módulo de deformação.

Sabendo-se que as tensões de tração mais importantes surgem no revestimento aplicado sobre uma base porosa, onde a retração é restringida por causa da própria aderência da argamassa ao substrato, Bastos (2003) explica que, como consequência dessa restrição aparecem tensões de tração na argamassa e, conseqüentemente, surge um estado de tensões interno que pode levar à fissuração do revestimento.

É possível afirmar que esse tipo de fissuração pode aparecer durante e, mais possivelmente, depois do endurecimento, quando o material não consegue mais se deformar para relaxar essas tensões, ou seja, quando as tensões efetivas ultrapassam o valor de resistência à tração. Yazigi (2004) coloca que a incidência dessas fissuras aumentará com o crescimento da resistência à tração e do módulo de deformação da argamassa.

Na argamassa endurecida, após a saída da água livre presente nos vazios capilares, a retração é provocada pela perda da água adsorvida, isto é, perda da água que está fisicamente aderida à parede dos vazios capilares da pasta. Em condições especiais severas de secagem, estudos sobre pastas de cimento descrevem também a retração pela saída de água interlamelar, presente entre as camadas da estrutura do silicato de

cálcio hidratado. A argamassa endurecida pode movimentar-se no sentido contrário ao da retração quando sujeita, por exemplo, à molhagem (Mehta e Monteiro, 1994).

Por fim, deve-se lembrar que as fissuras causadas pela retração podem ser prejudiciais, pois além de comprometerem a aparência, reduzem a durabilidade, pois permitem a percolação da água pelo revestimento já no estado endurecido, comprometendo a sua estanqueidade à água. Para que não ocorra fissuração no revestimento, Bastos (2003) descreve que se faz necessário que haja a combinação favorável de certas condições, como retração mínima da argamassa, resistência à tração da argamassa compatível, em cada idade, com os níveis de tensão existentes, e deformabilidade adequada da argamassa em cada idade, sendo para isso desejável uma evolução lenta do módulo de deformação com o tempo.

### 3 - PROGRAMA EXPERIMENTAL, MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo são detalhadas as etapas de desenvolvimento da pesquisa e apresentados os materiais empregados na pesquisa, as suas principais características, as técnicas de preparo dos componentes dos corpos-de-prova e acondicionamento, bem como, os procedimentos experimentais adotados em cada ensaio. De forma simplificada, pode-se dividir esse capítulo nas seguintes etapas, como mostra o quadro a seguir:

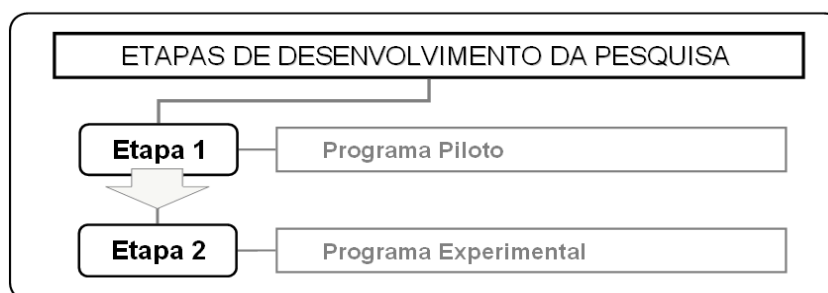


Figura 3.1 – Fluxograma de apresentação geral das etapas de desenvolvimento da pesquisa.

Deve-se salientar que este estudo é de caráter exploratório e inicia-se com o programa piloto, realizado com o intuito de definir o procedimento laboratorial necessário para a determinação da movimentação causada pela retração do revestimento e suas conseqüências. A seguir serão expostas as características do programa experimental, inclusive a do estudo-piloto, com o intuito de fornecer uma visão detalhada dos experimentos.

#### 3.1 - PROGRAMA PILOTO – RETRAÇÃO DO REVESTIMENTO

É conveniente ressaltar que existem vários métodos de ensaios, inclusive normalizados, concebidos para acompanhar volumetricamente o fenômeno da retração em laboratório que em sua maioria segue a evolução da retração linearmente. Outro ponto importante citado por Bastos (2001) que deve ser comentado é que no Brasil, a maioria das pesquisas que aborda o tema sobre retração em argamassas de revestimento, utiliza o método normalizado que emprega corpos-de-prova em forma de pequenas barras prismáticas aplicadas sobre substrato não poroso, sujeito apenas a perda de água por evaporação e por reações de hidratação dos aglomerantes. O acompanhamento da

variação dimensional, ocasionada pela retração, é feito apenas no estado endurecido da argamassa, ou seja, depois da retirada da forma, desconsiderando os efeitos de confinamento a que os revestimentos estão submetidos.

Levando em conta o que foi colocado anteriormente notou-se a necessidade de partir para o desenvolvimento de um método de ensaio que reproduzisse em laboratório condições próximas as da realidade a que as argamassas de revestimento estão submetidas, com objetivo de permitir acompanhar a sua movimentação e obter resultados que ajudem a entender melhor as conseqüências da secagem no desempenho do revestimento à base de argamassa.

### **3.1.1 - Definição do corpo-de-prova**

Inicialmente, buscou-se definir um modelo que representasse o sistema real de revestimento de parede para ser utilizado no acompanhamento da retração da argamassa, baseado nos dados obtidos na etapa de levantamento de informações.

O desenvolvimento do corpo-de-prova partiu da análise de modelos adotados em outras pesquisas realizadas no Laboratório de Ensaios de Materiais (LEM/UnB) ligadas a avaliação de desempenho de revestimentos. O primeiro modelo experimentado foi um painel protótipo, utilizando como substrato blocos de concreto unidos com argamassa de assentamento, empregado por Silva 2006 para avaliar as propriedades físico-mecânicas dos revestimentos em argamassa.

Como revestimento foi usado argamassa mista composta por cimento, cal e areia lavada na proporção de 1:1:3, em volume, com 30 mm de espessura, aplicada manualmente sobre o painel de blocos de concreto sem chapisco, na posição vertical. Nesse caso não foi possível utilizar dispositivo denominado de “caixa-de-queda”, desenvolvido por Paes 2004, que serve para padronizar a energia de aplicação da argamassa, devido às dimensões da amostra.

Logo após a execução do revestimento do corpo-de-prova, foi utilizado um painel, com três lâmpadas infravermelhas a uma altura de 50 cm, para acelerar a secagem da

argamassa. O acompanhamento da elevação da temperatura superficial foi realizado por meio de um termômetro digital de superfície com apontador laser. A temperatura máxima superficial do revestimento medida no centro da peça chegou próxima dos 70°C após 30 minutos de exposição.

Ao final do período de exposição ao calor, de 48 horas, observou-se que a superfície da argamassa não apresentou fissuras, mas que as bordas do revestimento ficaram levemente levantadas, descoladas do substrato em cerca de 1 mm, como mostra o detalhe da figura anterior. Desta forma pode-se colocar que esta primeira etapa serviu para verificar a eficiência da secagem com o uso de lâmpadas infravermelhas, que se mostrou eficiente, e a viabilidade de aplicação de painéis com dimensões maiores do que blocos individuais.

Como o objetivo desse trabalho é avaliar o comportamento do revestimento aplicado sobre superfície de concreto, passou-se a utilizar placas de concreto simples (sem armadura ou tela), com dimensões de 50 cm de largura por 50 cm de comprimento com espessura de 6 cm (Figura 3.2), facilitando o transporte durante a execução dos ensaios. A escolha, por essa nova opção de base, se deu devido ao fato de que os revestimentos em argamassa aplicados sobre estruturas de concreto (vigas e pilares) vêm apresentando um aumento nas ocorrências de problemas de descolamentos.

O concreto para a confecção dos substratos foi dosado de acordo com o procedimento proposto por Helene e Terzian (1992), com traço em massa, para um  $f_{ck}$  de 35 MPa. Os materiais utilizados foram cimento Portland CII-Z-32 RS, agregado miúdo (natural e britado) e graúdo (brita 0), com mistura realizada em betoneira de eixo inclinado, com volume nominal do tambor de 120 litros.

Transcorrido o período de mistura, foram avaliados as seguintes características do concreto fresco: consistência pelo abatimento do tronco de cone (ABNT NBR 7223:1998) e massa específica (ABNT NBR 9833:1987). Também foram moldados corpos-de-prova cilíndricos, em formas metálicas, de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura, para controle da produção, segundo as prescrições da ABNT NBR 5738:2003.



Tabela 3.1 – Características do concreto.

| <b>relação<br/>água/cimento</b> | <b>traço -massa<br/>(C:A<sub>N</sub>:A<sub>B</sub>:B)</b> | <b>consumo de<br/>cimento</b> | <b>consistência<br/>(abatimento)</b> |
|---------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------------|
| 0,46                            | 1:1,3:0,7:1,8   | 475 (kg/m <sup>3</sup> )      | (13 ± 2) cm                          |

Na produção dos substratos foram utilizadas formas metálicas, apesar de não serem as mais usuais, com a finalidade de obter um acabamento superficial liso, e optou-se por não usar desmoldante para que esse não interferisse na aderência do sistema de revestimento. O concreto foi lançado na forma em duas camadas adensadas com uso de mesa vibratória por um minuto por camada. O processo de cura por molhagem teve duração de 7 dias e as placas foram mantidas em ambiente de laboratório por 90 dias.



Figura 3.2 – Substratos de concreto, 50 cm por 50 cm, para o ensaio de retração do revestimento.

Após 91 dias da concretagem as superfícies que iriam receber o revestimento passaram por um processo de preparação com uso de lixa número 24 e escovação manual (escova de cerdas de aço) a seco. Em seguida, foi realizada a limpeza das placas com uso de água e escova de cerdas plásticas.

Em seguida, foram adotadas modificações visando controlar as variáveis auxiliares, que apesar de não serem as principais em estudo devem ser consideradas e controladas por também exercerem efeitos importantes. Para isso, foram adotados alguns critérios básicos para a execução dos revestimentos, como a mudança na posição da placa de concreto para aplicação das argamassas, que passou a ser revestida na posição

horizontal e a forma de adensar a argamassa, com uso de uma mesa vibratória, para tentar obter uma homogeneidade na camada de revestimento e minimizar o efeito da variável mão-de-obra, a qual não faz parte do escopo da pesquisa.

O corpo-de-prova, após o lançamento da argamassa no substrato, foi submetido à secagem com uso de painel com lâmpadas infravermelhas por 48 horas. As medidas da movimentação ocasionada pela retração, ocorridas na fase endurecida, foram obtidas após três horas do lançamento da argamassa, com auxílio de um retratômetro (relógio comparador) analógico, com precisão de 0,002 mm, que fazia a obtenção da leitura da variação da distância dos pontos de referência fixados sobre a superfície do revestimento.

A localização dos pontos usados para obtenção da movimentação do revestimento é mostrada na Figura 3.3. Cabe lembrar que durante os ensaios a colagem das peças metálicas utilizadas como referenciais só podia ser feita quando a superfície do revestimento oferecia resistência suficiente para resistir a essa operação.

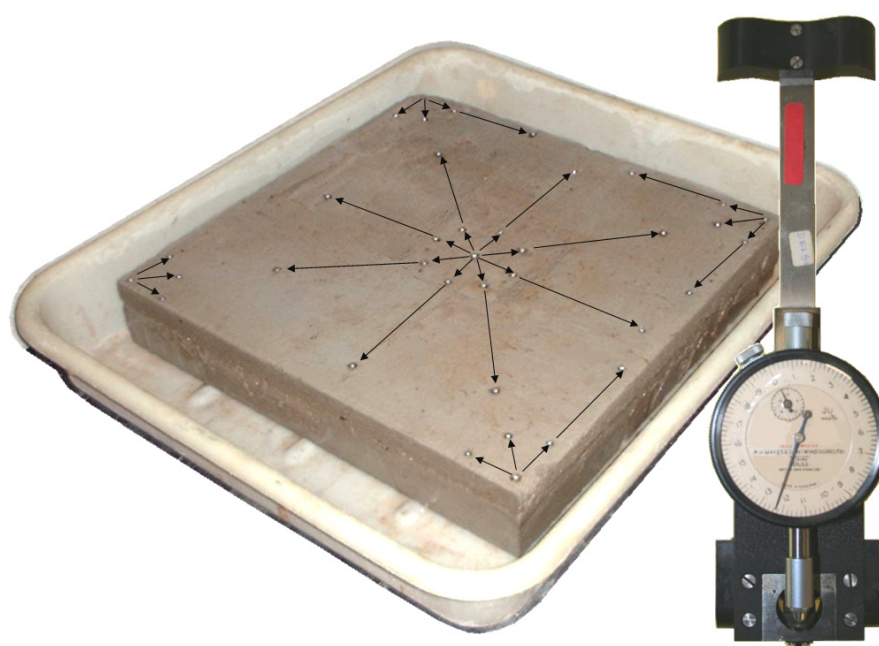


Figura 3.3 – Corpo-de-prova de 50 cm por 50 cm para acompanhamento da retração na superfície do revestimento, com uso de retratômetro analógico.

Foi observado no ensaio do corpo-de-prova de 50 cm por 50 cm, mostrado na Figura 3.3, que os cantos as bordas do revestimento haviam descolado na região de interface com o substrato e que em algumas regiões da superfície do revestimento

surgiram fissuras superficiais randômicas, com encontros formando ângulos próximos de 120°. Com relação ao levantamento das bordas, foi levantada a hipótese de que essa região sofre mais intensamente os efeitos de secagem, pois perde água pela superfície superior e lateral, pois não há continuidade do revestimento.

Com relação ao acompanhamento da retração ficou comprovado que em toda a superfície do revestimento as movimentações obtidas apresentavam valores muito próximos, mas com o aparecimento do descolamento as leituras dos pontos próximos das bordas apresentavam variações.

Dessa forma, outro ponto que tinha que ser solucionado estava ligado ao descolamento do revestimento, que iniciava nas bordas e se propagava para o centro do corpo-de-prova. Para tentar induzir o descolamento do centro para as extremidades, durante a secagem, foi colocado um pedaço de papel filtro qualitativo, com dimensões de (20 x 20) cm, no centro da placa de concreto, para evitar a aderência da argamassa com o substrato nessa região. A Figura 3.4 mostra o substrato como papel filtro colocados na forma antes de receber a argamassa de revestimento.

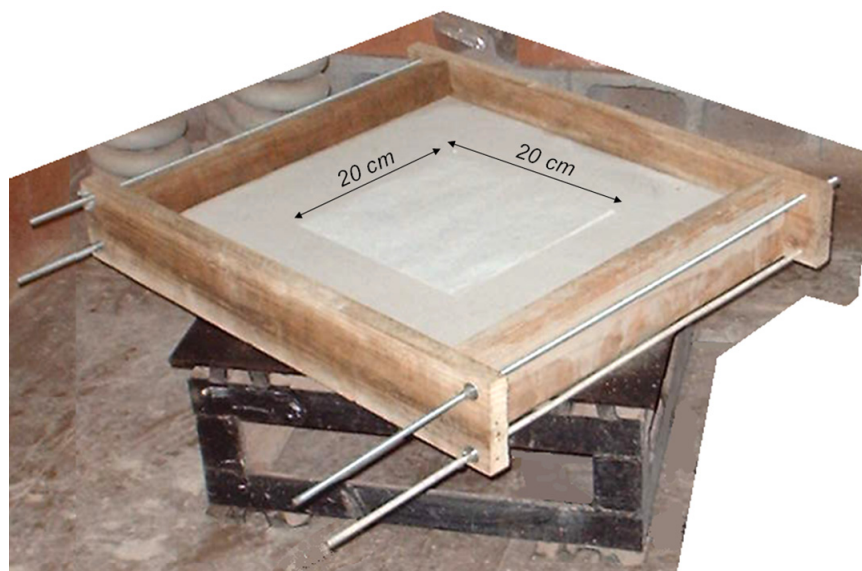


Figura 3.4 – Forma com substrato e papel filtro sobre a mesa vibratória antes de receber o revestimento.

Como resultado da execução desse novo procedimento obteve-se o descolamento na região central do corpo-de-prova, com isso foram surgindo indícios que a falta de

aderência ocasionava um alívio nas tensões superficiais oriundas da secagem do revestimento, e conseqüentemente as extremidades do revestimento não descolavam do substrato.



Figura 3.5 – Seção do corte do corpo-de-prova com papel filtro usado para o ensaio de retração do revestimento.

Tentando reproduzir tal situação, em laboratório, sem a colocação do papel filtro surgiu à idéia de revestir as laterais da placa de concreto com argamassa (Figura 3.6), com a intenção de aumentar a ancoragem das bordas e concentrar as tensões no centro da placa, induzindo um descolamento do revestimento nessa região.

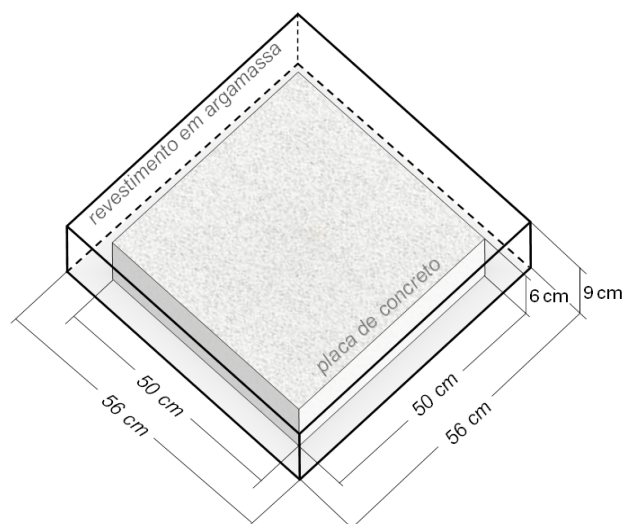


Figura 3.6 – Corpo-de-prova desenvolvido para o ensaio de retração do revestimento – desenho esquemático.



Foi confeccionada uma forma, usada para auxiliar a colocação do revestimento sobre o substrato posicionado horizontalmente e permitir o adensamento mecânico da argamassa, composta por quatro laterais feitas de compensado plastificado de 17 mm de espessura, presas através de parafusos e porcas, para facilitar a sua montagem e remoção. O fundo da forma era composto por uma folha compensado naval de 22 mm de espessura revestido por uma lâmina de fórmica. Com intuito de evitar a aderência com a argamassa e diminuir o atrito do sistema com a superfície interna da forma, foi aplicada uma fina camada de desmoldante de base mineral com um pincel e retirado o excesso com pano absorvente, procedimento similar era realizado para reduzir o atrito da parte inferior do corpo-de-prova com a superfície da fórmica (Figura 3.7).



Figura 3.7 – Forma usada para a confecção dos corpo-de-prova de 50 cm por 50 cm com bordas revestidas para acompanhamento da retração na superfície do revestimento.

O procedimento para aplicação do revestimento começava após a colocação das placas de concreto (substrato) nas formas, com a aplicação da argamassa em duas camadas de mesma altura, cada uma delas adensada com auxílio de uma mesa vibratória de alta frequência, com tempo de vibração de 45 s, com a finalidade de obter um revestimento mais homogêneo possível. Após a aplicação do revestimento os corpos-de-prova eram submetidos à secagem com uso do painel térmico por 48 horas.

As laterais das fôrmas eram removidas após 120 min da moldagem, enquanto parte inferior da forma, que servia como base para transporte dos corpos-de-prova, permanecia até o fim do ensaio de acompanhamento da retração do revestimento, aos 28 dias após a moldagem.

Na superfície do corpo-de-prova foram coladas nove peças metálicas, duas horas depois de sua moldagem, para obtenção da retração revestimento, sendo: uma no centro e as outras oito distribuídas radialmente na superfície da placa, conforme mostra a Figura 3.8. Cabe ressaltar que a distância entre esses pontos e o centro era de aproximadamente 200 mm. Com o fim do período de exposição de 48 horas os corpos-de-prova eram acompanhados por mais 26 dias, permanecendo em condições de laboratório.

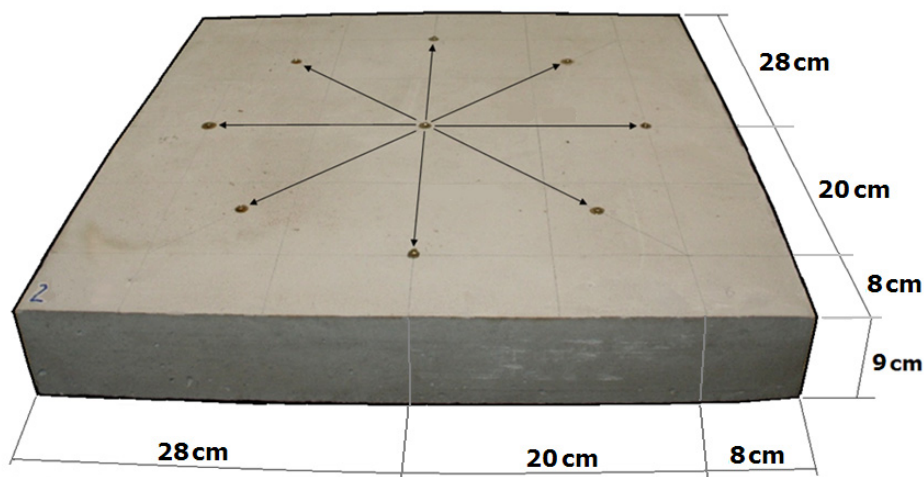


Figura 3.8 – Corpo-de-prova de 50 cm por 50 cm com bordas revestidas para acompanhamento da retração na superfície do revestimento.

Com adoção desse procedimento de revestimento ocorreu o descolamento no centro da amostra e a argamassa na região de borda continuou aderida à placa de concreto.

### 3.2 - DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

A partir da obtenção de resultados satisfatórios no programa piloto pôde-se dar início ao programa experimental, que foi elaborado com o objetivo de verificar a influência de fatores que interfiram na retração dos revestimentos, e contribuam para o surgimento de fissuras e de descolamentos, e está dividido nas seguintes fases:

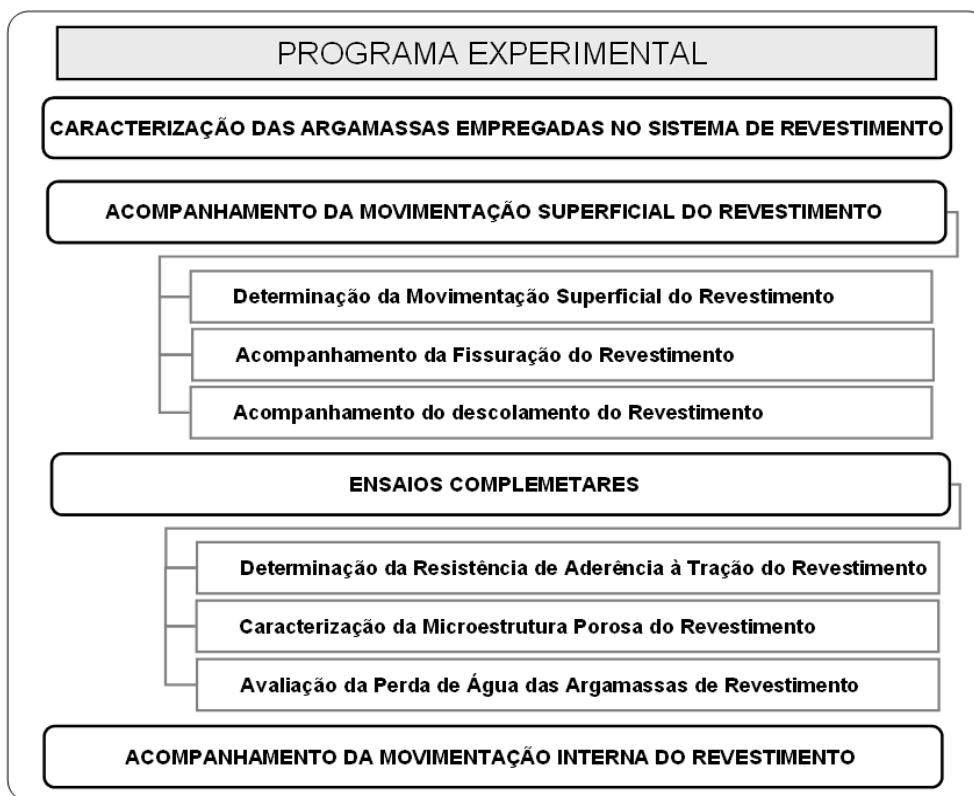


Figura 3.9 – Fluxograma de apresentação do programa experimental.

Para a realização dessa pesquisa, foram selecionados materiais empregados corriqueiramente em canteiros de obras, na região onde foi realizada a pesquisa (Brasília-DF). Na escolha dos métodos de ensaio, foi levada em consideração a infra-estrutura institucional disponível, pois essa pesquisa foi realizada no Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília. Alguns desses métodos foram empregados visando apenas uma avaliação qualitativa dos resultados, outros foram analisados de forma quantitativa para cada caso, conforme será visto adiante.

Cabe ressaltar que os ensaios de: determinação da composição granulométrica por meio do granulômetro a laser foi realizada no Laboratório de Geotecnia da UnB; caracterização química e física do cimento foi feita na Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP); caracterização da cal foi realizada no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT); e porosimetria da argamassa foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). As etapas de desenvolvimento do programa experimental serão descritas nos próximos itens.

### 3.3 - CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS EMPREGADAS NO SISTEMA DE REVESTIMENTO

Para o desenvolvimento da pesquisa foram escolhidos dois tipos de argamassas para revestimento, conforme mostra a Figura 3.10.

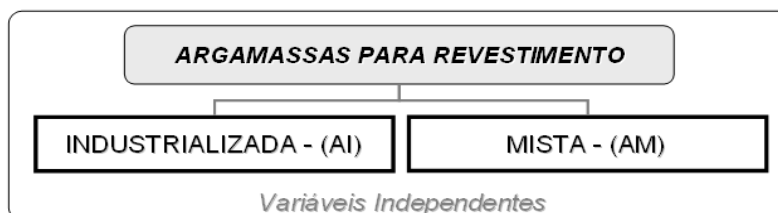


Figura 3.10 – Tipos de argamassas usadas na pesquisa.

A argamassa industrializada, denominada de AI, entrou no programa experimental como uma variável de controle, em quanto, as argamassas mistas, que receberam a denominação de AM, serviram para obter mudanças de comportamento através de variações na proporção dos materiais componentes.

#### 3.3.1 - Argamassa industrializada

A argamassa industrializada escolhida para ser utilizada nesta pesquisa foi a Votomassa múltiplo uso, proveniente de um mesmo lote, produzida pela Votorantim Cimentos, e adquirida no mercado local em embalagens de 50 kg. A escolha se deu por se tratar de uma argamassa para uso em revestimento em áreas internas e externas.

A Tabela 3.2 apresenta a caracterização física realizada na argamassa industrializada, deve-se esclarecer que os ensaios realizados foram adaptados das normas utilizadas para caracterização de agregados.

Tabela 3.2 - Caracterização física da argamassa industrializada empregada.

| Ensaio                | Métodos de Ensaios | Resultado               |
|-----------------------|--------------------|-------------------------|
| Massa Específica      | NBR NM 52/03       | 2,75 g/cm <sup>3</sup>  |
| Massa Unitária        | NBR 7251/82        | 1,44 kg/dm <sup>3</sup> |
| Material Pulverulento | NBR NM 46/03       | 27,8%                   |



A determinação da composição granulométrica da argamassa foi realizada numa adaptação da ABNT NBR ISO 3310-1, representada na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Distribuição granulométrica da argamassa industrializada empregada.

| <b>Peneiras com abertura de malha<br/>(ABNT NBR ISO 3310-1)</b> | <b>Porcentagem, em massa,<br/>retida acumulada</b> |
|---|--|
| 2,36 mm   | -  |
| 1,18 mm   | 1  |
| 600 $\mu\text{m}$   | 17   |
| 300 $\mu\text{m}$   | 35   |
| 150 $\mu\text{m}$   | 63   |

A composição granulométrica da fração passante na peneira com abertura de malha 150  $\mu\text{m}$  foi obtida por meio do granulômetro a laser, e o resultado é apresentado em forma de gráfico na Figura 3.11.

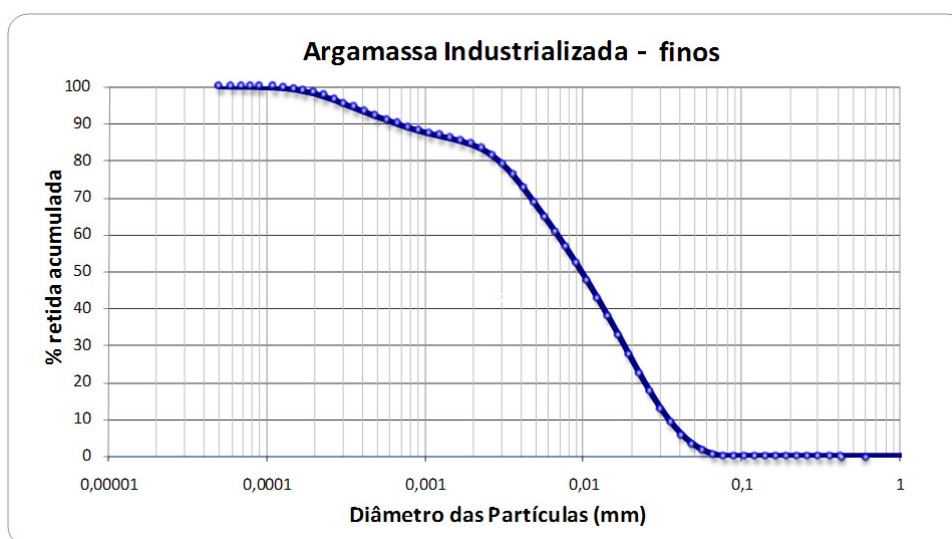


Figura 3.11 – Caracterização granulométrica da fração da argamassa passante na peneira com abertura de malha 150  $\mu\text{m}$  por meio de granulômetro a laser.

A avaliação com o uso do granulômetro a laser permite uma visão mais completa da distribuição das dimensões das partículas. A escolha dessa fração foi devido a recomendações sobre a limitação de uso desse equipamento (Figura 3.12) com relação à dimensão máxima das partículas (material passante na peneira com abertura de malha 425  $\mu\text{m}$ ).



Figura 3.12 – Granulômetro a laser do Laboratório de Geotecnia da UnB.

### **3.3.2 - Argamassas mistas**

A opção pelo emprego da argamassa mista para revestimento foi feita em decorrência do seu uso na região onde esta pesquisa foi realizada, além das maiores possibilidades de controle das características desse tipo de argamassa em função da escolha dos materiais a serem utilizados em suas dosagens.

#### **3.3.2.1 - Materiais empregados na produção das argamassas mistas**

Neste estudo foram utilizados materiais usualmente empregados em canteiros de obras para a produção de argamassa mista para revestimento, tais como: cimento Portland, cal hidratada, agregado natural e água potável proveniente da rede pública de abastecimento.

Esses materiais foram escolhidos levando em consideração as características necessárias e suficientes ao desempenho técnico requerido, inicialmente comprovado através de experiências práticas bem sucedidas. Outro ponto importante para a escolha foi a sua representatividade e facilidade de obtenção no mercado que atende a região onde foi realizada a pesquisa (Brasília - DF).

- Cimento Portland

O aglomerante hidráulico utilizado nesta pesquisa foi o cimento Portland composto com adição de material pozolânico resistente a sulfatos (CP II-Z-32 RS) de um mesmo lote, produzido pela Cimento Tocantins, localizada no Distrito Federal, e fornecido em embalagens de 50 kg.

A utilização deste componente se justifica por apresentar características que atendem as exigências necessárias ao uso, lembrando que o CP II-Z-32 RS possui adição de material pozolânico (sigla Z), nesse caso, argila pozolânica calcinada, compreendida entre (6 - 14)% de acordo com a ABNT NBR 11578:1992, não apresentando nos resultados de caracterização física e química (Tabela 3.4 e Tabela 3.5) valores que possam influenciar negativamente as propriedades das argamassas.

Tabela 3.4 - Caracterização físico-mecânica do cimento Portland CP II-Z-32 RS.

| Ensaio                                   | Método de Ensaio | Resultados | Limites da NBR 11578/92  |
|--|------------------|------------|--------------------------|
| Finura – resíduos na peneira de 75µm (%) | NBR 11579/91     | 2,2        | ≤ 12,0%                  |
| Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )    | NBR NM 23/01     | 3,03       | -                        |
| Área específica (m <sup>2</sup> /kg)     | NBR NM 76/98     | 432        | ≥ 260 m <sup>2</sup> /kg |
| Água da pasta de consistência normal (%) | NBR NM 43/03     | 30,0       | -                        |
| Início de pega (h:min)                   | NBR NM 65/03     | 2:25       | ≤ 1 hora                 |
| Fim de pega (h:min)                      | NBR NM 65/03     | 3:45       | ≤ 10 horas               |
| Expansibilidade de LeChatelier (mm)      | NBR 11582/91     | 0,5        | ≤ 5 mm                   |

| Resistência à compressão (MPa) – (ABNT NBR 7215:1996) |                |      |      |      |       |                            |                         |
|---|----------------|------|------|------|-------|----------------------------|-------------------------|
| Idade (dias)  | Corpo-de-prova |      |      |      | Média | Desvio relativo máximo (%) | Limites da NBR 11578/92 |
|   | 1              | 2    | 3    | 4    |       |                            |                         |
| 3   | 21,7           | 21,9 | 21,5 | 22,0 | 21,8  | 1,4                        | ≥ 10,0 MPa              |
| 7   | 29,2*          | 30,8 | 32,3 | 32,2 | 31,8  | 3,1                        | ≥ 20,0 MPa              |
| 28  | 39,5           | 38,7 | 39,5 | 38,1 | 39,0  | 2,3                        | ≥ 32,0 MPa              |

\* valor não considerado para o cálculo da média (DRM > 6%)

Com relação aos resultados do início (2h:25min) e do fim (3h:45min) de pega, podem ser usados para estimar um intervalo de tempo aproximado para executar as operações de mistura com água, transporte e aplicação das compósitos de cimento, sem prejudicar alterações no mecanismo de hidratação do aglomerante.

Tabela 3.5 - Composição química do cimento Portland CP II-Z-32.

| Ensaio   | Método de Ensaio | Resultados % em massa | Limites da NBR 11578/92 |
|--|------------------|-----------------------|-------------------------|
| Perda ao fogo - PF                                 | NBR NM 18/04     | 4,55                  | ≤ 6,5%                  |
| Dióxido de silício total - SiO <sub>2</sub>        | NBR 14656/01     | 23,50                 | -                       |
| Óxido de alumínio - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | NBR 14656/01     | 8,7                   | -                       |
| Óxido de ferro - Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>    | NBR 14656/01     | 3,32                  | -                       |
| Óxido de cálcio total - CaO                        | NBR 14656/01     | 54,10                 | -                       |
| Óxido de magnésio - MgO                            | NBR 14656/01     | 2,81                  | ≤ 6,5%                  |
| Anidrido sulfúrico - SO <sub>3</sub>               | NBR NM 16/04     | 0,80                  | ≤ 4,0%                  |
| Óxido de sódio - Na <sub>2</sub> O                 | NBR NM 22/04     | 0,22                  | -                       |
| Óxido de potássio - K <sub>2</sub> O               | NBR NM 22/04     | 0,92                  | -                       |
| Anidrido carbônico - CO <sub>2</sub>               | NBR NM 20/04     | 2,39                  | ≤ 5,0%                  |
| Resíduo insolúvel - RI                             | NBR NM 22/04     | 13,22                 | ≤ 16,0%                 |
| Óxido de cálcio livre                              | NBR NM 13/04     | 0,92                  | -                       |

A Figura 3.13 apresenta a composição granulométrica do cimento usando granulômetro a laser.

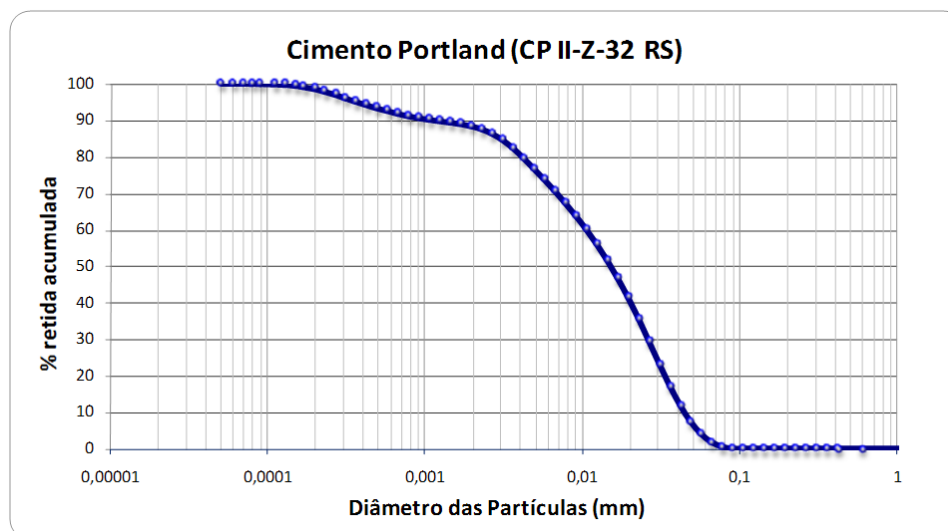


Figura 3.13 – Caracterização granulométrica do cimento por meio de granulômetro a laser.

Deve-se lembrar que as propriedades intrínsecas de cada tipo de cimento podem ser determinantes no desempenho das argamassas ainda no estado fresco, como também no endurecido. Nesse sentido, chama-se atenção para a finura, característica intimamente ligada à propriedade aglomerante do cimento, avaliada pelos ensaios de resíduos na

peneira de 75 $\mu$ m (ABNT NBR 11579:1991), pela área específica no aparelho de Blaine (ABNT NBR NM 76:1998), e pelo ensaio de granulometria a laser, lembrando que quanto maior a área específica, mais fino é o cimento, podendo desenvolver maiores resistências nas primeiras idades, ponto que pode ser considerado importante em determinadas situações, como no caso da resistência de aderência. Porém, por outro lado, a velocidade de desprendimento do calor de hidratação, o teor de água para uma mesma trabalhabilidade, a retração e/ou risco de fissuração estão também diretamente relacionados à finura (Bauer e Sousa, 2005).

- Cal hidratada

Como aglomerante aéreo foi empregada na composição das argamassas mistas uma cal hidratada CH-I, proveniente de um mesmo lote fabricado pela Cal Neve Ltda, localizada em Matozinhos - MG, e fornecida em sacos de 20 kg.

O seu emprego se justifica por apresentar características que atendem às exigências necessárias ao uso, conforme mostra os resultados de caracterização desse componente (Tabela 3.6 e Tabela 3.7), não exercendo influencia negativa significativa nas propriedades das argamassas.

Tabela 3.6 – Resultados dos ensaios de caracterização e limites da ABNT NBR 7175:2003 - Cal hidratada para argamassas: Especificação.

| <b>Finura (NBR 9289/2000)<br/>Material retido acumulado (%)</b> | <b>Resultados da<br/>Amostra</b> | <b>Limites<br/>(CH-I)</b>           |
|---|----------------------------------|-------------------------------------|
| Peneira n 30 (0,600 mm)   | 0,0                              | ≤ 0,5                               |
| Peneira n 200 (0, 075 mm)                                       | 6,5                              | ≤ 10                                |
| <b>Plasticidade (NBR 9206/2003)</b>                             | <b>Resultados da<br/>Amostra</b> | <b>Limites<br/>(CH-I, II e III)</b> |
| Fator água/cal, em %  | 79,0                             | -                                   |
| Consistência obtida, em (mm)                                    | 18                               | -                                   |
| Leitura final   | 100                              | -                                   |
| Tempo (s)   | 420                              | -                                   |
| Plasticidade  | 122                              | ≥ 110                               |

| <b>Estabilidade (NBR 9205/2001)</b>                        | <b>Resultados da Amostra</b> | <b>Limites (CH-I, II e III)</b> |
|--|------------------------------|---------------------------------|
| Fator água/cal (%)   | 100,0                        | -                               |
| Consistência (mm)  | 275                          | -                               |
| Cavidades e/ou protuberâncias                              | Ausência                     | Ausência                        |
| <b>Retenção de água (NBR 9206/2003)</b>                    | <b>Resultados da Amostra</b> | <b>Limites (CH-I e II)</b>      |
| Fator água/cal (%)   | 80,4                         | -                               |
| Consistência (mm)  | 211                          | -                               |
| Cavidades e/ou protuberâncias                              | 83                           | ≥ 75                            |
| <b>Capacidade de incorporação de areia (NBR 9207/2000)</b> | <b>Resultados da Amostra</b> | <b>Limites (CH-I)</b>           |
| Relação cal:areia, em massa                                | 1,00:3,10                    | -                               |
| Fator água/cal, em g/g                                     | 0,78                         | -                               |
| Consistência obtida (mm)                                   | 240                          | -                               |
| Argamassa não extrudada                                    | 27                           | -                               |

Tabela 3.7 – Resultados da análise química e limites especificados pela ABNT NBR 7175:2003 .

| <b>Determinações</b>  | <b>Resultados, em %</b> | <b>Limites (CH-I)</b> |
|---|-------------------------|-----------------------|
| Umidade   | 0,06                    | -                     |
| Perda ao fogo - PF  | 28,4                    | -                     |
| Resíduo insolúvel (SiO <sub>2</sub> +RI)  | 0,34                    | -                     |
| Óxido de ferro e alumínio - (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) | 0,23                    | -                     |
| Óxido de cálcio (CaO)   | 71,1                    | -                     |
| Óxido de magnésio (MgO)   | 0,41                    | -                     |
| Anidrido sulfúrico (SO <sub>3</sub> )   | 0,00                    | -                     |
| Anidrido carbônico (CO <sub>2</sub> )   | 7,35                    | ≤ 7%*                 |
| Na base do material original - óxidos não hidratados (CaO+MgO)                                | 0,00                    | ≤ 10%                 |
| Na base não voláteis - óxido totais (CaO+MgO)   | 99,9                    | ≥ 90%                 |

\* no depósito.

A Figura 3.14 apresenta a composição granulométrica da cal hidratada obtida com uso do granulômetro a laser.

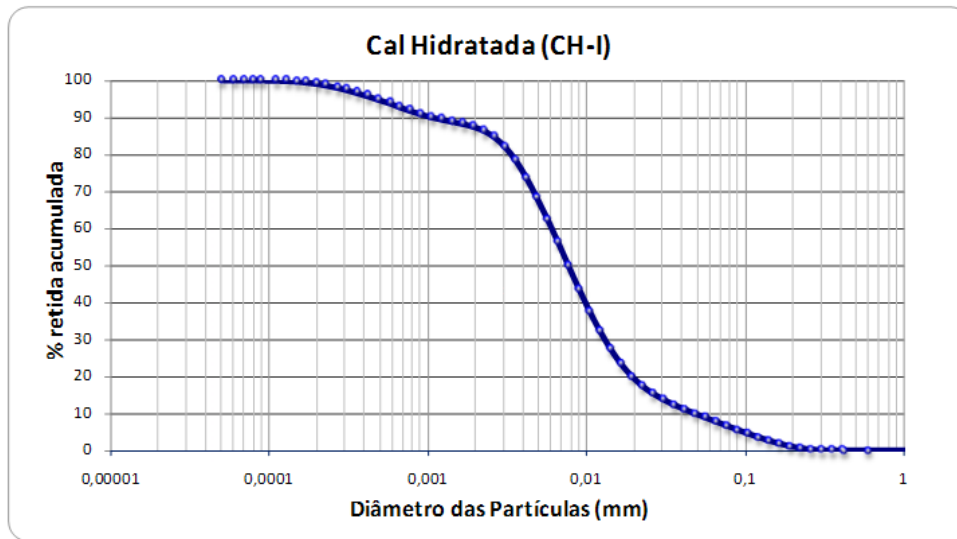


Figura 3.14 – Caracterização granulométrica da cal por meio de granulômetro a laser.

#### ● Agregado

Como agregado miúdo natural utilizou-se uma areia lavada proveniente de depósito aluvial do Rio Corumbá, em Goiás, sendo adquirida no comércio local de Brasília-DF.

Optou-se por usar um agregado natural, para confecção das argamassas mistas para revestimento, devido a sua rugosidade, apesar de não ter sido avaliada diretamente. A escolha por um agregado com granulometria mais fina foi feita na tentativa de obter um aumento na quantidade de água necessária para alcançar uma argamassa com maior plasticidade e conseguir um melhor acabamento superficial.

Esse agregado foi caracterizado pelos ensaios de composição granulométrica, massa específica, absorção de água, teor de argila em torrões e material fino passante, por lavagem, na peneira com abertura de malha 75  $\mu\text{m}$ . O material apresentou distribuição granulométrica satisfatória, composta por faixas granulométricas atendendo aos limites da zona utilizável da ABNT NBR NM 7211:2005.

Essa areia passou por processo de secagem em estufa e apenas o material passante na peneira com abertura de malha 4,75 mm foi caracterizado. A Tabela 3.8 traz os valores da composição granulométrica do agregado utilizado na confecção das argamassas.

Tabela 3.8 - Distribuição granulométrica do agregado empregado na execução da argamassa de revestimento.

| <b>Peneiras com abertura de malha<br/>(ABNT NBR ISO 3310-1)</b> | <b>Porcentagem, em massa,<br/>retida acumulada</b> |
|---|--|
| 2,36 mm   | 1  |
| 1,18 mm   | 6  |
| 600 $\mu\text{m}$   | 11   |
| 300 $\mu\text{m}$   | 27   |
| 150 $\mu\text{m}$   | 80   |

Para a obtenção da composição granulométrica do material passante na peneira com abertura de malha 150  $\mu\text{m}$  utilizou-se o granulômetro a laser. O resultado é apresentado na Figura 3.15.

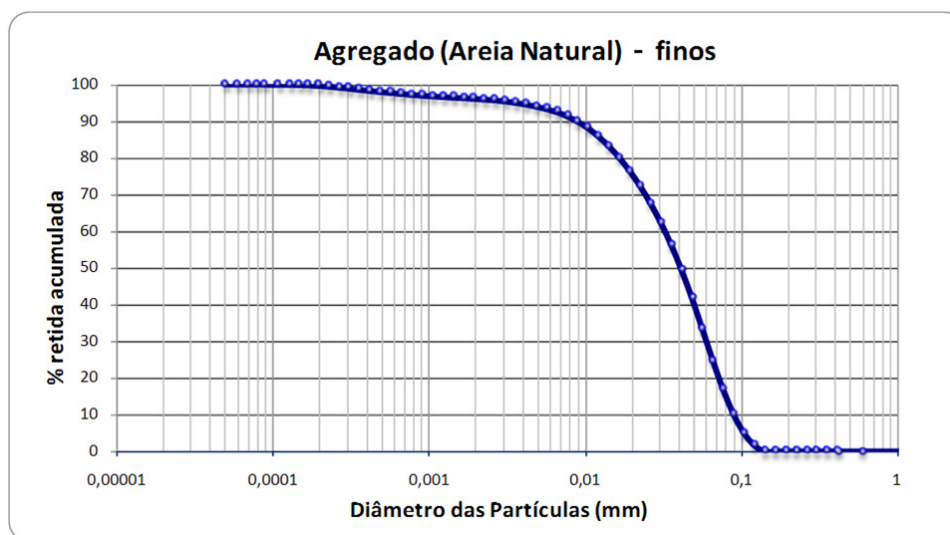


Figura 3.15 – Caracterização granulométrica da fração do agregado das argamassas mistas passante na peneira com abertura de malha 150  $\mu\text{m}$  por meio de granulômetro a laser.

Os resultados dos ensaios de caracterização física desse agregado são apresentados na Tabela 3.9.



Tabela 3.9 - Caracterização física da areia empregada nas argamassas mistas.

| <b>Ensaio</b>                  | <b>Métodos de Ensaio</b> | <b>Resultado</b>       |
|--------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Módulo de Finura               | NBR NM 248/03            | 1,32                   |
| Dimensão Máxima Característica | NBR NM 248/03            | 2,36 mm                |
| Massa Específica               | NBR NM 52/03             | 2,63 g/cm <sup>3</sup> |
| Absorção de Água               | NBR NM 30/01             | 0,8%                   |
| Teor de Argila em Torrões      | NBR 7218/87              | 0,32%                  |
| Material Pulverulento          | NBR NM 46/03             | 1,9%                   |

### 3.3.2.2 - Dosagem das argamassas mistas

Esta fase teve como objetivo dosar as argamassas de revestimento utilizadas na pesquisa, e conseqüentemente, levantar a influência de alguns fatores intervenientes na quantidade de água utilizada na produção frente às alterações na composição dessas misturas.

Foi levada em conta a colocação feita por Paes (2004) que a argamassa ainda não dispõe de um método que tenha sido totalmente reconhecido no meio técnico nacional, o que ocasiona uma falta de critérios que tem levado à obtenção de argamassas com comportamentos diversos, face à variação das características físicas, químicas e mineralógicas dos materiais constituintes. Deixa-se claro que muito embora inúmeras contribuições tenham sido dadas neste sentido por diversos pesquisadores da área.

Corriqueiramente adota-se para as argamassas de revestimento os traços 1:1:6 e 1:2:9 (cimento: cal: areia, em volume), em uma proporção aglomerante:agregado de 1:3, que representam, em média, 20% de aglomerante (cimento e cal) e 80% de agregado (areia), em massa. No entanto, identifica-se em determinados casos o uso de traços mais pobres, como 1:6 a 1:9 (aglomerante: agregado, em volume), prejudicando a qualidade do revestimento.

Conforme colocado anteriormente, torna-se necessária a adoção de um método de dosagem que possibilite obter argamassas de revestimento que atendam a relação entre

parâmetros de mistura e propriedades de interesse como aderência, ausência de fissuração e pulverulência, facilidade de aplicação, dentre outras, com o objetivo de produzir argamassas que permitam seu uso corrente de acordo com a função desejada. Com intuito de atender a esta necessidade, foi definido o parâmetro “E” como a principal variável dessa fase do estudo (Figura 3.16).

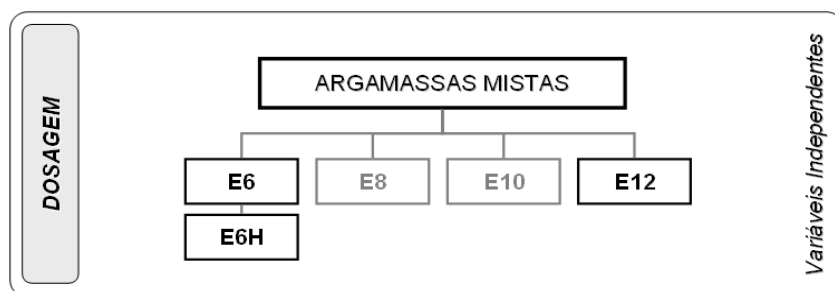


Figura 3.16 – Fluxograma de apresentação da dosagem das argamassas de revestimentos.

O estudo de dosagem das argamassas à base de cimento e cal hidratada para revestimento se desenvolveu após definição da composição granulométrica do agregado. Utilizou-se um método já consagrado no Laboratório de Ensaios de Materiais da Universidade de Brasília (LEM/UnB), com base nos estudos de Selmo (1989), a partir da definição do parâmetro “E”, que apresenta a formulação analítica (em massa), descrita a seguir:

$$E = \frac{(Agregado + Cal)}{Cimento} \quad (3.1)$$

A utilização do parâmetro “E” foi feita a partir da fixação das quantidades, julgadas inicialmente adequadas, das areias e variando-se esses parâmetros nos valores (estimados) de E=6, E=8, E=10 e E=12, de modo a obter as relações necessárias ao estudo da composição das argamassas.

Os materiais constituintes das argamassas selecionadas foram acondicionados, uma semana antes do início da dosagem, em ambiente de laboratório, temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $(60 \pm 5)\%$ . A separação desses materiais foi feita em massa, com balança de precisão 0,1 g, em lotes de 5 kg de materiais, e a mistura foi

feita manualmente. A metodologia utilizada, no preparo das argamassas, pode ser resumida nas seguintes etapas:

- a) determinação, em balança, das massas de cimento, cal, areia e água;
- b) umedecimento da areia em torno de 2,5%;
- c) pré-mistura do agregado e do cimento, a fim de homogeneizar os materiais; e
- e) adição de cal e água, na pré-mistura, até se obter a trabalhabilidade desejada.

Na Tabela 3.10 são mostradas as relações obtidas no estudo de dosagem. Cabe colocar que nessa etapa nenhuma dessas argamassas foi aplicada sobre algum tipo de substrato, ou seja, foram avaliadas apenas empiricamente no sentido táctil-visual.

Tabela 3.10 - Resultados das composições das argamassas obtidas no estudo de dosagem.

| <b>Parâmetro “E”<br/>(estimado)</b> | <b>Parâmetro “E”<br/>(real)</b> | <b>Traço (massa)<br/>(cimento: cal: areia: água)</b> | <b>Traço (volume)<br/>(cimento: cal: areia: água)</b> |
|-------------------------------------|---------------------------------|--|---|
| 6                                   | 5,98                            | 1: 0,24: 5,74: 1,32                                  | 1: 0,41: 4,22: 1,32                                   |
| 8                                   | 7,95                            | 1: 0,49: 7,46: 1,72                                  | 1: 0,83: 5,48: 1,72                                   |
| 10                                  | 10,08                           | 1: 0,76: 9,32: 2,14                                  | 1: 1,28: 6,85: 2,14                                   |
| 12                                  | 11,98                           | 1: 1,01: 10,98: 2,52                                 | 1: 1,69: 8,07: 2,52                                   |

Resolveu-se elevar a quantidade de água da argamassa E6 em 33%, que passou a se chamar de E6H, com o objetivo de ocasionar variações específicas nas propriedades da argamassa no estado fresco. Espera-se que esse aumento no volume de água da argamassa acarrete alterações no comportamento do revestimento.

Tabela 3.11 - Resultado das composição da argamassa E6H.

| <b>Parâmetro “E”<br/>(estimado)</b> | <b>Parâmetro “E”<br/>(real)</b> | <b>Traço (massa)<br/>(cimento: cal: areia: água)</b> | <b>Traço (volume)<br/>(cimento: cal: areia: água)</b> |
|-------------------------------------|---------------------------------|--|---|
| 6H                                  | 5,98                            | 1: 0,24: 5,74: 1,76                                  | 1: 0,41: 4,22: 1,76                                   |

A Figura 3.17 ilustra as composições das argamassas mistas obtidas após as dosagens.

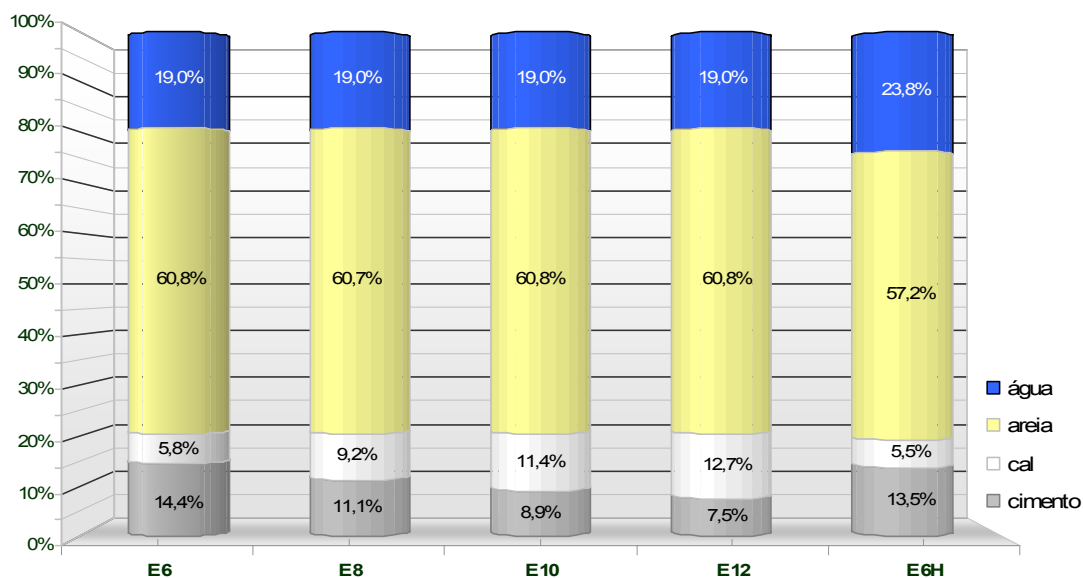


Figura 3.17 – Composições das argamassas mistas em volume.

### 3.3.3 - Ensaios de caracterização das argamassas de revestimento

Esta etapa foi realizada para caracterizar a argamassa industrializada e as argamassas mistas produzidas em laboratório após a definição da proporção de cada material e da análise preliminar da trabalhabilidade (táctil-visual).

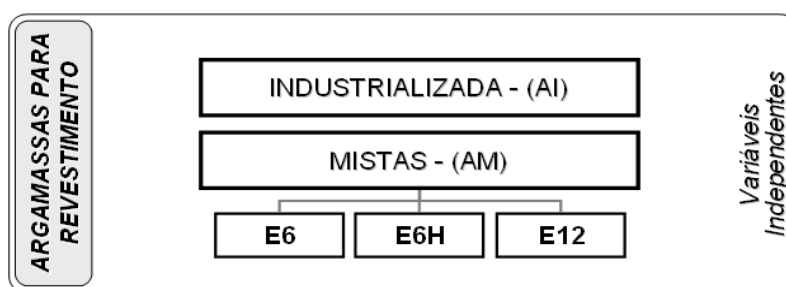


Figura 3.18 – Fluxograma de apresentação das argamassas de revestimentos escolhidas para os ensaios de caracterização.

Escolheu-se a composição E6 para o desenvolvimento das etapas seguintes desta pesquisa por ter o maior volume de cimento entre as argamassas dosadas, juntamente com a E6H, devido ao seu volume de água, e a E12, por possuir o menor teor de cimento.

As argamassas, industrializada e mistas, foram submetidas a ensaios de caracterização nos estados fresco e endurecido, conforme mostra o fluxograma da Figura 3.19.

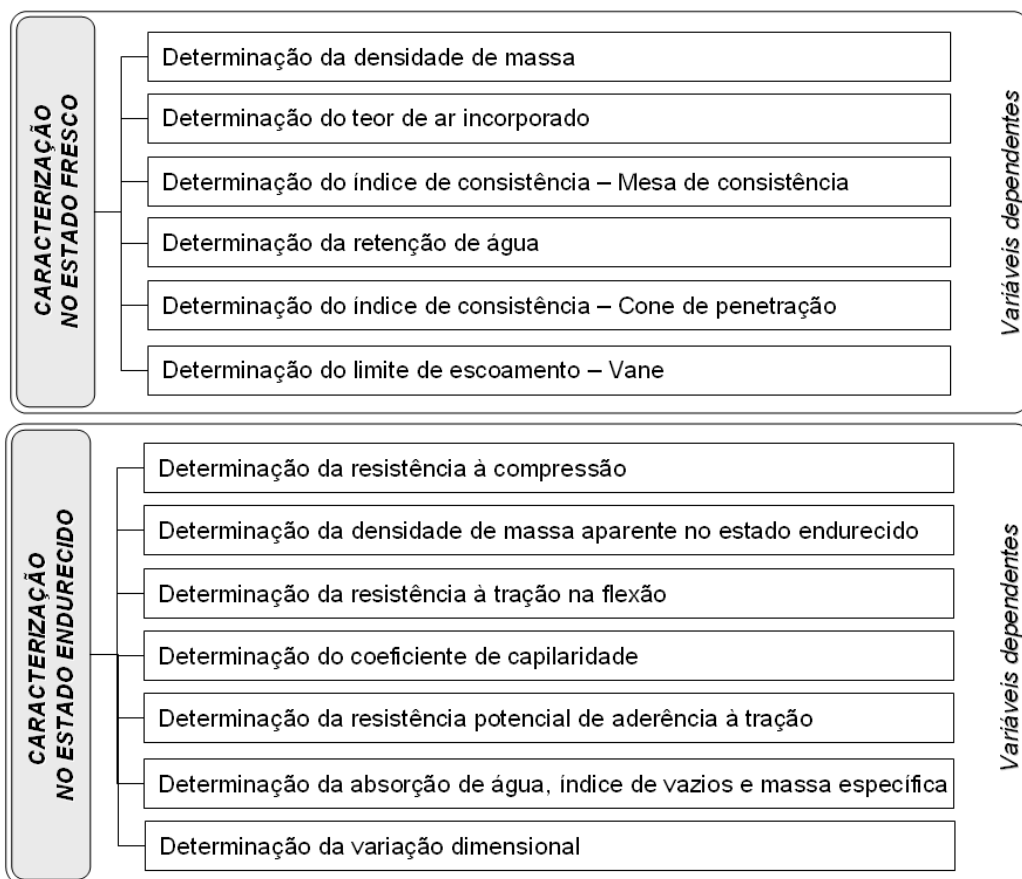


Figura 3.19 – Fluxograma de apresentação dos ensaios de caracterização das argamassas de revestimentos.

### 3.3.3.1 - Produção das argamassas para os ensaios de caracterização

Para a realização dos ensaios de caracterização as argamassas passaram a ser produzida em um misturador mecânico, da marca Hobart, modelo N-50, atendendo as especificações descritas na ABNT NBR 7215:1996, utilizando em cada mistura 2500 g de material anidro. Deve-se lembrar que a pesagem da massa dos componentes dos dois tipos de argamassas foi realizada com aproximação de 0,1 g, com antecedência de 24 h da utilização e em ambiente de laboratório.

Com as composições das argamassas mistas previamente definidas, em termos de proporções de materiais constituintes, teve início, conforme recomenda a ABNT NBR 13276:2005, a determinação da massa da areia, da cal hidratada e da água, passando por uma simples etapa de homogeneização com espátula (ainda no estado anidro) e posteriormente, misturando mecanicamente por quatro minutos em velocidade baixa (vel. 1), após a adição de água. Por fim, foi feita a pesagem do

material misturado e, em seguida, a proteção para minimizar a perda de água, envolvendo o recipiente do misturador com papel filme.

Depois do intervalo de maturação da cal, realizou-se uma nova pesagem do material preparado foi acrescentada, quando necessário, a água eventualmente perdida por evaporação. Adicionou-se cimento em quantidades definidas a partir do traço escolhido ao recipiente do misturador, e por fim, realizou-se nova homogeneização por quatro minutos, em velocidade baixa, sendo que, após os primeiros dois minutos o misturador era desligado e feito uma homogeneização com espátula. O tempo de mistura adotado foi suficiente para a obtenção de uma mistura homogênea e sem grumos.

Para a argamassa industrializada a mistura foi, também, realizada de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 13276:2005, do seguinte modo: inicialmente foi feita a pesagem da massa de água (400 g) e de material seco (2500 g), seguindo as proporções indicadas pelo fabricante, e colocados, nessa mesma ordem, no recipiente do misturador de modo contínuo, dentro de um período de 30s; a mistura foi realizada, na velocidade baixa, durante 30 s; depois foi retirada da pá e feita a raspagem da pá e da superfície interna do misturador, no intervalo de 60s; e por fim, misturou-se, na velocidade baixa, por mais 30 s.

Esses procedimentos foram realizados previamente ao desenvolvimento de cada método de ensaio, onde após a produção das argamassas eram coletadas amostras submetidas imediatamente aos ensaios de caracterização no estado fresco e endurecido.

### 3.3.3.2 - Ensaios de caracterização das argamassas no estado fresco

As argamassas foram avaliadas no estado fresco, submetidas aos seguintes ensaios:

- ✓ determinação da densidade de massa;
- ✓ determinação do teor de ar incorporado;
- ✓ determinação do índice de consistência;
- ✓ determinação da retenção de água;
- ✓ determinação do índice de consistência pela penetração estática de cone; e
- ✓ determinação do limite de escoamento pelo ensaio vane.

Cabe ressaltar que o ensaio para determinação do índice de consistência pela penetração estática de cone, que apesar de bastante usado e de ser considerado um ensaio consagrado para caracterizar a argamassa no estado fresco, ainda não possui normalização nacional. Porém, esse ensaio foi realizado conjuntamente com um método de ensaio não tão difundido advindo da mecânica dos solos, ensaio vane, de forma a obter dados qualitativos e quantitativos mais confiáveis com relação às propriedades do material em questão, A seguir, esses ensaios utilizados na caracterização das argamassas são detalhados.

- Determinação da densidade de massa

A determinação da densidade de massa foi realizada conforme preconiza a ABNT NBR 13278:2005. Como consta nessa norma a densidade da argamassa ( $d$ ), no estado fresco, é expressa em quilogramas por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ) e arredondada ao número inteiro mais próximo. Para essa pesquisa o resultado corresponde à média de três determinações consecutivas, realizadas em amostras diferentes de uma mesma argamassa.

- Determinação do teor de ar incorporado

Para determinar o teor de ar incorporado foi utilizada a metodologia de ensaio descrita na ABNT NBR 13278:2005 e o procedimento da ABNT NBR NM 47:2002.

Para a determinação do teor de ar incorporado ( $A$ ) pelo método gravimétrico da ABNT NBR 13278:2005, nesta pesquisa, o resultado, expresso em percentual arredondado ao número inteiro, corresponde à média de três determinações consecutivas, realizadas em amostras diferentes de uma mesma argamassa, sendo usado para fins comparativo em uma determinada mistura.

A norma para a determinação teor de ar incorporado pelo método pressométrico preconiza dois tipos de aparelhos medidores de teor de ar, o tipo A e tipo B. Sendo, neste trabalho, utilizado o tipo B da marca SOLOTEST, com capacidade de 1 litro, específico para argamassas, com a compactação realizada manualmente. A quantidade

de ar exprime-se geralmente em porcentagem do volume de concreto. Assim, 1% de ar significa um volume de vazios de 1 litro de ar em 100 litros de concreto, ou seja, de 10 litros em 1 metro cúbico. O resultado do teor de ar na fração foi expresso em percentual com aproximação de 0,1%.

- Determinação do índice de consistência pela mesa para índice de consistência.

A determinação do índice de consistência foi feita de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 13276:2005. A aparelhagem utilizada corresponde, basicamente, a mesa padrão para índice de consistência, o molde tronco cônico, um soquete metálico e um paquímetro, todos em conformidade com a ABNT NBR 7215:1996. Quanto ao procedimento de ensaio, cabe destacar que logo após o processo de mistura uma amostra de argamassa era retirada para ser utilizada na execução do ensaio.

De acordo com a norma o índice de consistência corresponde à média de três medidas de diâmetros tomados em pares de pontos uniformemente distribuídos ao longo do perímetro, expressa em milímetros e arredondada ao número inteiro mais próximo. Para essa pesquisa adotou-se como resultado a média de duas determinações consecutivas, realizadas em amostras diferentes de uma mesma argamassa.

- Determinação da retenção de água;

O ensaio de determinação da retenção de água foi realizado seguindo as recomendações de procedimento da ABNT NBR 13277:2005, tendo em vistas avaliar em poucos minutos a quantidade de água livre capaz de contribuir potencialmente para o fenômeno de exsudação das argamassas. Nesse método, a argamassa é submetida a uma pressão de sucção de 51 mm de mercúrio durante 15 min através de uma aparelhagem composta por um funil de Büchner: modificado conforme a ABNT NBR 9290:1996 com bomba de vácuo. Para o presente estudo, assim como prescreve a norma para essa determinação, o valor de retenção de água ( $R_a$ ) obtido foi expresso em porcentagem, arredondando-o ao número inteiro mais próximo.



- Determinação do índice de consistência pela penetração estática de cone.

O índice de consistência foi determinado, também, segundo o método da penetração do cone, prescrito pela norma ASTM C780-96, para controle da consistência das argamassas.

Pode-se dizer que o ensaio de penetração de cone é um método simples, porém eficiente para se mensurar a consistência de argamassas, e já vem sendo empregado em pesquisas no Brasil há cerca de 10 anos, inicialmente na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), por Carasek e Djanikian (1993); Cincotto et al. (1995); Carasek (1996) e, posteriormente, no âmbito do Núcleo de Tecnologia das Argamassas e Revestimentos da Universidade Federal de Goiás (NUTEA/UFG), através das pesquisas de Carasek et al. (1995a; 1995b); Pereira (2000); Angelim (2000); Cunha et al. (2001); Angelim et al. (2003); Almeida Dias e Carasek (2003); Scartezini e Carasek (2003); e Carvalho (2004). No Laboratório de Ensaio de Materiais da Universidade de Brasília com os trabalhos de Bauer et al. (2005), Sousa (2005) e em outras pesquisas em andamento.

Para o estudo, a rotina de ensaio utilizada foi composta das seguintes etapas: Após o preparo da argamassa, preencheu-se com esse material, três recipientes cilíndricos (com dimensões de  $76 \pm 1,6$  mm de diâmetro e aproximadamente 88 mm profundidade), procurando distribuir em três camadas iguais ao longo da altura, aplicando 20 golpes com espátula de forma a permitir uma adequada acomodação e homogeneidade das camadas. Rasou-se o seu topo e posicionou-se o cone rente à sua superfície, efetuando-se a leitura inicial, sendo este liberado em queda livre para que ocorra sua penetração, por gravidade. Passados 10 segundos, efetuou-se a leitura da profundidade. Como resultado, o ensaio fornece uma avaliação indireta da consistência do material a partir da profundidade de penetração do cone, expresso em milímetros. A Figura 3.20 mostra o equipamento utilizado.

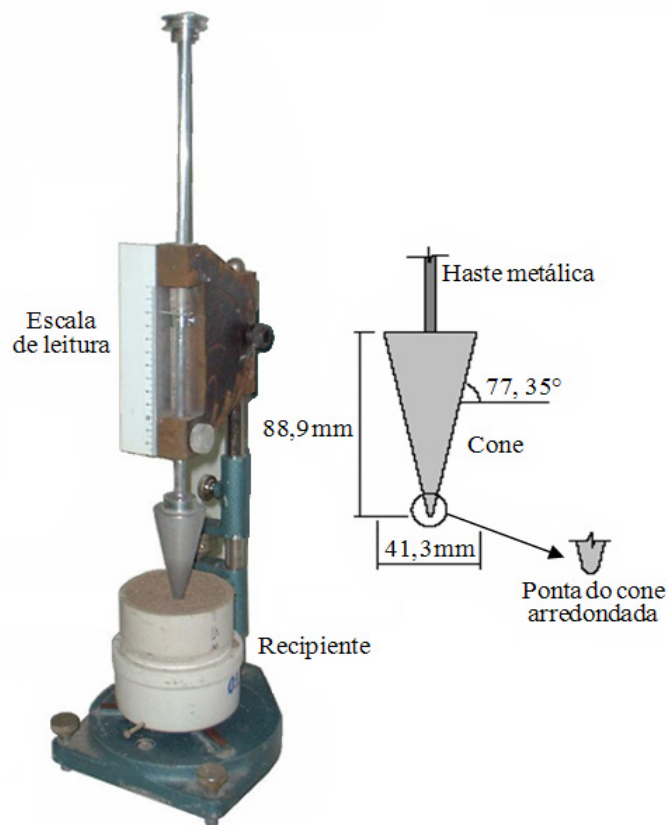


Figura 3.20 – Cone de penetração utilizado no ensaio de consistência das argamassas.

Será adotado como resultado a média de três determinações consecutivas realizadas em amostras diferentes de uma mesma argamassa.

- Determinação da tensão de escoamento pelo ensaio vane

Ao longo desta pesquisa o ensaio vane ou vane test, preconizado pela norma ASTM D4648-2000, será utilizado para determinar a tensão limite de escoamento<sup>1.1</sup> das argamassas estudadas, e assim, determinar de forma indireta as suas consistências.

Originalmente, este método foi desenvolvido para medir, *in situ*, a resistência ao cisalhamento de solos. Recentemente, tem sido mais usado para avaliar outros parâmetros aplicáveis em um contexto reológico, como a viscosidade plástica e a resistência ao cisalhamento. No estudo dos materiais de construção é possível encontrar

---

<sup>1.1</sup> Tensão limite de escoamento – valor da tensão de cisalhamento no qual o gradiente de velocidade é igual a zero. Ou seja, para que um material tenha um fluxo viscoso, a força aplicada nesse, deve ser superior a tensão limite de escoamento do referido material.

trabalhos que utilizam o método vane para caracterizar concretos e argamassas, como é o caso do trabalho desenvolvido por Alves (2002), Santos (2003), Do Ó (2004), Paes (2004), Araújo Junior (2004) e Sousa (2005), que utilizaram este método para avaliar a consistência de argamassas de revestimento no estado fresco. Nessas aplicações foi possível identificar comportamentos mais precisos, a partir da mensuração da tensão limite de escoamento, tomada como parâmetro de consistência.

Com relação à metodologia de execução dos ensaios, o procedimento adotado para realização desse ensaio foi baseado na rotina descrita por Bauer et al. (2004). O preparo da amostra é semelhante ao adotado no ensaio de consistência pelo método da penetração do cone. Deve-se ressaltar que, o equipamento utilizado nesse ensaio é um vane tester modelo V-Lab, fabricado pela ViaTest, mostrado na Figura 3.21.

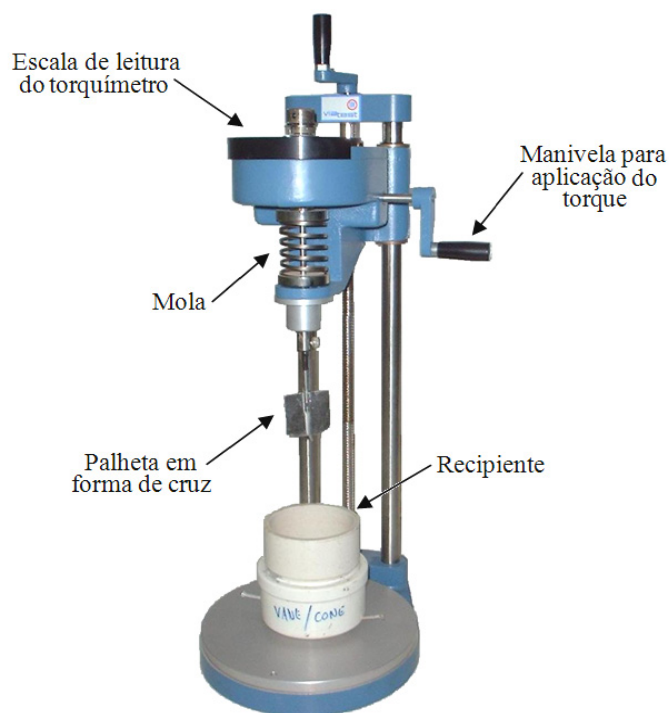


Figura 3.21 – Aparelho *vane tester* utilizado para medir tensão limite de escoamento das argamassas.

O ensaio é iniciado após a inserção por completo da palheta no centro da amostra. Em seguida, aplica-se manualmente uma tensão de cisalhamento na amostra a uma velocidade aproximada de 90°/minuto. Na parte superior do aparelho, com o auxílio do torquímetro, registra-se o torque máximo necessário para romper a camada de argamassa que se encontra na região em volta da palheta.

Para o cálculo da tensão de escoamento a partir do torque máximo é necessário o conhecimento da geometria da palheta (diâmetro e altura) para aplicar na Equação (3.2) (Nguyen e Boger, 1985).

$$T_m = \frac{\pi D^3}{2} \left( \frac{H}{D} + \frac{1}{3} \right) \tau_0 \quad (3.2)$$

Onde:

$T_m$  = torque máximo (kgf.cm);

$\tau_0$  = tensão limite de escoamento ou resistência ao cisalhamento (kgf/cm<sup>2</sup>);

$D$  = diâmetro da palheta (cm); e

$H$  = altura da palheta (cm).

Os resultados dessa avaliação serão a média de três determinações consecutivas realizadas em amostras diferentes para uma mesma argamassa.

### 3.3.3.3 - Ensaio de caracterização das argamassas no estado endurecido

Após a caracterização das argamassas no estado fresco foi feita a caracterização no estado endurecido, com o intuito de fornecer parâmetros importantes para discussão geral dos resultados, utilizando os seguintes ensaios:

- ✓ absorção de água, índice de vazios e massa específica – ABNT NBR 9778:2005;
- ✓ resistência à compressão – ABNT NBR 13279;
- ✓ densidade de massa aparente no estado endurecido – ABNT NBR 13280;
- ✓ resistência à tração na flexão – ABNT NBR 13279;
- ✓ módulo de deformação;
- ✓ coeficiente de capilaridade – ABNT NBR 15259;
- ✓ resistência potencial de aderência à tração – ABNT NBR 15258; e
- ✓ determinação da variação dimensional – ABNT NBR 15261:2005.

Para a obtenção do módulo de deformação das argamassas foi utilizada a metodologia de ensaio baseada nos procedimentos adotados por Bastos (2001), onde foi medido o deslocamento vertical (flecha) dos corpos-de-prova no ensaio de tração na flexão, no meio do vão entre os apoios, usando extensômetro com precisão de 0,002mm, e a deformação foi calculada nos pontos correspondentes a 5% e 30% da carga de ruptura.

Deve-se ressaltar que o cálculo do módulo foi feito a partir da relação entre a tensão de tração na flexão, em MPa, e a deformação correspondente, em mm/mm, considerando-se uma viga simplesmente apoiada nas extremidades e carregada no meio do vão. A tensão de tração na flexão é dada por:

$$\sigma = \frac{1,5Fl^3}{bd^2} \quad (3.3)$$

Onde:

- $\sigma$  = tensão de tração na flexão, em MPa;
- $F$  = carga aplicada no meio do vão, em N;
- $l$  = distância entre apoios, em mm;
- $b$  = base do corpo-de-prova, em mm; e
- $d$  = espessura do corpo-de-prova, em mm;

O módulo de deformação, em função da flecha, é calculado pela Equação (3.4):

$$E = \frac{Fl^3}{4\delta bd^3} \quad (3.4)$$

Onde:

- $E$  = módulo de deformação, em MPa;
- $F$  = carga aplicada no meio do vão, em N;
- $l$  = distância entre apoios, em mm;
- $b$  = base do corpo-de-prova, em mm;
- $d$  = espessura do corpo-de-prova, em mm;
- $\delta$  = deslocamento (flecha) no meio do corpo-de-prova, em mm.

Foi adotado o módulo corda para representar a capacidade de deformação das argamassas, que é dado, segundo Mehta e Monteiro (1994), pela declividade da reta traçada entre dois pontos da curva *tensão x deformação*, obtido pela Equação (3.5):

$$E_c = \frac{(\sigma_{30} - \sigma_5)}{(\varepsilon_{30} - \varepsilon_5)} \quad (3.5)$$

Onde:

- $E_c$  = módulo corda, em MPa;
- $\sigma_i$  = tensão de tração na flexão igual a  $i$  % da tensão de ruptura, em MPa; e
- $\varepsilon_i$  = deformação longitudinal específica de tração (mm/mm) no corpo-de-prova na posição mais distante da linha-neutra, no meio do vão entre apoios, correspondente à tensão de tração na flexão igual a  $i$  % da tensão de ruptura.

### **3.3.4 - Produção das argamassas, no decorrer da pesquisa**

As argamassas, mistas e industrializada, passaram a ser produzidas em um misturador elétrico com maior capacidade, (betoneira de eixo inclinado, com volume nominal do tambor de 120 litros), localizado dentro do Laboratório de Ensaios de Materiais, mantendo as mesmas condições ambientais durante o preparo das misturas conforme recomendações da ABNT NBR 13276:2005 (temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $(60 \pm 5)\%$ ). Os procedimentos adotados para a produção dessas argamassas foram semelhantes aos realizados na confecção das argamassas para os ensaios de caracterização, diferenciando apenas no tempo de mistura e no volume de material usado. Sendo confeccionado apenas o suficiente para realizar os ensaios de controle das argamassas no estado fresco e revestir uma placa.

#### **3.3.4.1 - Ensaios de controle das argamassas no estado fresco**

O controle das argamassas foi feito após cada mistura, utilizando o método de determinação do índice de consistência pela penetração estática do cone, além da determinação da densidade de massa e da determinação do teor de ar incorporado pelo método pressométrico.

Os resultados desses ensaios serviram inicialmente para determinar o tempo de mistura, uma vez que a eficiência de mistura do misturador usado na etapa de caracterização das argamassas é diferente, e depois foram utilizados como parâmetros para manter o controle da produção das argamassas.

### **3.4 - ACOMPANHAMENTO DA MOVIMENTAÇÃO SUPERFICIAL DO REVESTIMENTO**

A proposta de execução desse ensaio surgiu com a necessidade de conhecer melhor as conseqüências da retração ocasionada pela retirada de água das argamassas de revestimento, por absorção do substrato e pela evaporação. Deve-se salientar que o principal objetivo é avaliar a movimentação superficial do revestimento e a suas

conseqüências sobre o sistema de revestimento. As variáveis do ensaio estão listadas no fluxograma da Figura 3.22.

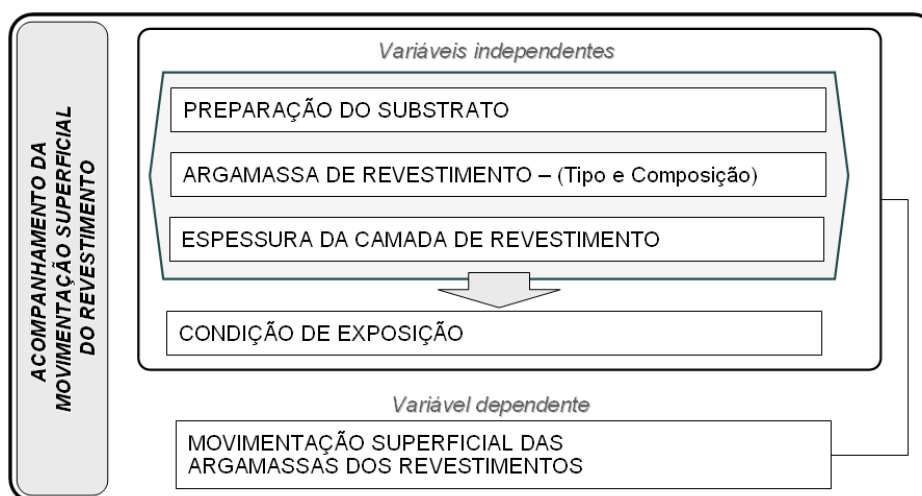


Figura 3.22 – Fluxograma de apresentação das variáveis do ensaio de acompanhamento da movimentação superficial do revestimento.

### 3.4.1 - Corpos-de-prova para o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento

O acompanhamento foi realizado em corpos-de-prova (placas de concreto revestido com argamassas) que tiveram variações no preparo do substrato, no tipo e na composição da argamassa, na espessura da camada de revestimento e na condição de exposição das amostras. Essas mudanças foram induzidas com a finalidade de obter comportamentos distintos ocasionando variações no desempenho dos revestimentos. Ficou definida para esse ensaio, após estudo preliminar, a adoção de peças de argamassa em forma de placa, aplicadas sobre base porosa (Figura 3.24), com o intuito de obter uma situação onde o corpo-de-prova represente uma situação muito próxima da realidade do revestimento de parede.

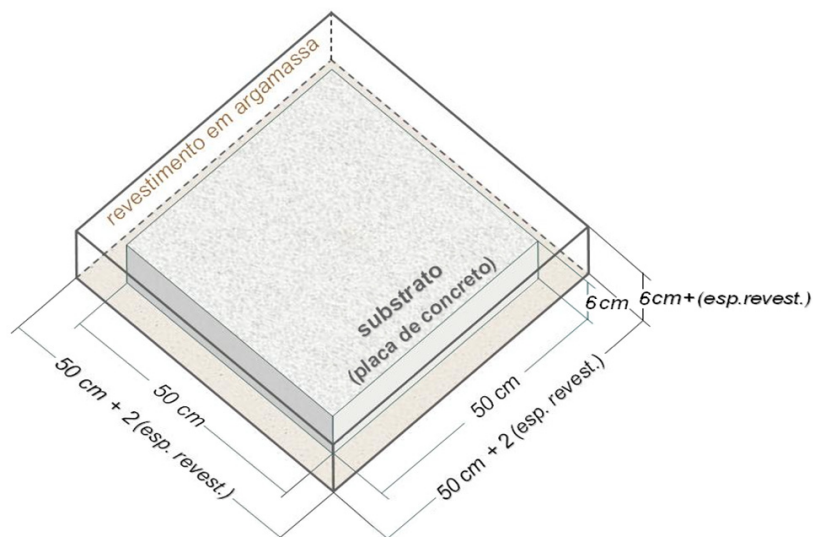


Figura 3.23 – Corpo-de-prova usado para o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento – desenho esquemático.

Para cada variável do estudo foi confeccionado três corpos-de-prova idênticos, com intuito de avaliar a variação dos resultados obtidos em cada amostra. A Figura 3.24 mostra o fluxograma da produção das amostras utilizadas nesse ensaio.

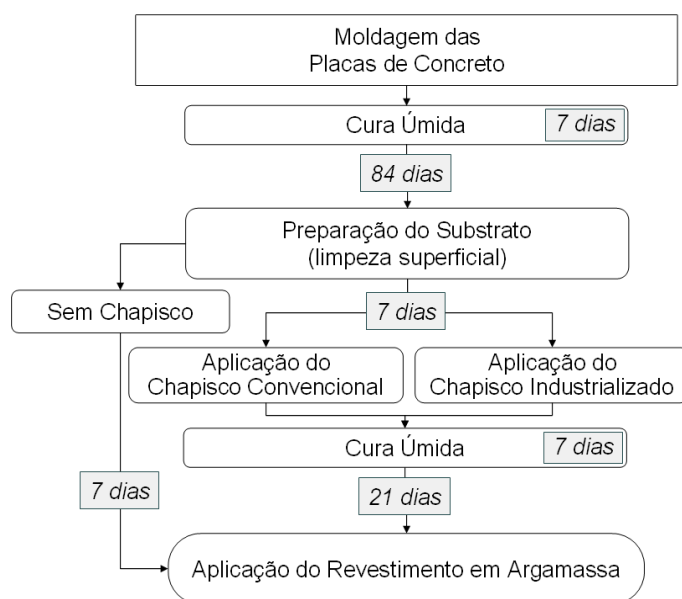


Figura 3.24 – Fluxograma do processo de preparação do corpo-de-prova usado para o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento.

Nota-se que os intervalos entre as etapas de produção, intencionalmente, superam os períodos mínimos recomendados para a execução dessas atividades. A justificativa está na tentativa de reduzir a influência da retração dessas fases nas medidas obtidas durante o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento.



### 3.4.1.1 - Preparação do substrato

A preparação do substrato iniciou 91 dias após a moldagem da placa de concreto (base). A escolha da variação da preparação de base foi feita devido à alteração da rugosidade e da absorção de água, que provavelmente, viria a influenciar de forma distinta no transporte de água das argamassas frescas por sucção pelo substrato e, conseqüentemente, na retração do revestimento. A preparação da base para aplicação do revestimento teve as seguintes variações:

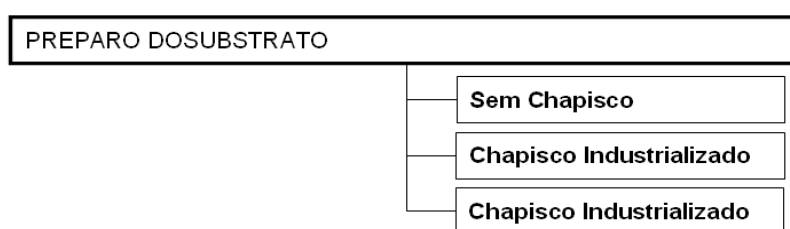


Figura 3.25 – Detalhamento da variável preparo do substrato.

As placas sem os chapiscos foram usadas para a verificação da influência do uso do chapisco como tratamento superficial e a sua interferência na movimentação do revestimento. Os chapiscos foram escolhidos, pois são atualmente as técnicas mais utilizadas de preparação de substratos de concreto, principalmente na região do Distrito Federal, onde a pesquisa foi realizada. Deve-se ressaltar que estes foram aplicados com a dupla finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento, sendo a argamassa de chapisco industrializada, também conhecido como chapisco colante, o tratamento superficial que tem apresentado uso crescente sobre estruturas de concreto nas obras acompanhadas durante o período de desenvolvimento da pesquisa.

Após a preparação da superfície das placas de concreto, com uso de lixa número 24 e escovação manual (escova de cerdas de aço) a seco, seguido pela limpeza com uso de água e escova de cerdas plásticas, foi feita a secagem por sete dias em ambiente de laboratório até a obtenção da condição de superfície seca. Em 2/3 das placas de concreto que tiveram as suas superfícies limpas foi realizado o tratamento superficial, aplicando chapisco tradicional (cimento; areia; e água) em 1/3 e chapisco industrializado (chapisco colante) nas restantes.

- Chapisco industrializado

O chapisco industrializado utilizado nesta etapa foi o Votomassa chapisco adesivo para concreto, proveniente de um mesmo lote, fornecido em embalagens de 20 kg e adquirido no mercado varejista local. Um dos motivos para a sua escolha foi a sua adequação como ponte de aderência entre substrato de baixa absorção e a argamassa de revestimento, tanto em áreas externas como internas, além da sua representatividade no mercado local.

Esse chapisco foi produzido em um misturador mecânico, da marca Hobart, modelo N-50, conforme descreve a ABNT NBR 7215:1996. Nessa etapa de mistura a quantidade de argamassa utilizada foi de 2500 g de material anidro e 500 g de água (a proporção indicada pelo fabricante é de 4,0 a 4,3 litros de água para 20 kg de material).

A preparação da argamassa fresca foi realizada de acordo com os procedimentos da ABNT NBR 13276:2005, do seguinte modo:

- a) pesagem da massa de água e colocação no recipiente do misturador;
- b) pesagem do material seco e colocação no misturador de modo contínuo, dentro de um período de 30s;
- c) mistura, na velocidade baixa, durante 30 s;
- d) retirada da pá e raspagem da pá e da superfície interna do misturador, no intervalo de 60s; e
- e) mistura, na velocidade baixa, por mais 30 s.

Deve-se ressaltar que a pesagem da massa dos componentes foi realizada com aproximação de 0,1 g e o tempo de mistura foi suficiente para a obtenção de uma mistura homogênea e sem grumos.

O tempo total de utilização foi de aproximadamente 10 minutos, contados a partir do início da mistura do produto. A sua aplicação foi feita com o lado liso da desempenadeira metálica para espalhar o chapisco industrializado nas superfícies das placas (que ficaram em contato com a fôrma), formando uma camada uniforme com espessura de aproximadamente 5 mm. Em seguida, para as placas do ensaio de acompanhamento da retração do revestimento, foi usando o lado denteado (dentes quadrados, com aberturas de 8 x 8 mm espaçada por 8 mm), removendo o excesso de

chapisco movimentando a desempenadeira com ângulo máximo de aproximadamente 60 graus em relação à base, formando cordões contínuos e uniformes.

Após a aplicação, apesar de serem mantidas em ambiente protegido (ambiente de laboratório), procedeu-se a cura úmida do chapisco por aspersão de água, que teve início após duas horas de sua aplicação, sendo realizada a cada 12 horas durante sete dias. Deve-se ressaltar que de acordo com as instruções do fabricante, contidas na embalagem, após a aplicação da argamassa de chapisco se as condições climáticas continuarem críticas (condições ambientais como temperatura da superfície da base alta, presença de ventos fortes, umidade relativa baixa e forte insolação) recomenda-se que seja realizada aspersão de água em um intervalo de aproximadamente uma a duas horas.

- Chapisco convencional

A argamassa de chapisco convencional, que tem seu uso freqüente sobre superfícies de concreto, foi preparada utilizando cimento Portland CP II-Z-32 RS e areia, na proporção de 1:3 em volume, juntamente com água, em quantidade suficiente para dar a argamassa uma consistência fluída.

Na preparação da argamassa de chapisco convencional, a quantidade de argamassa utilizada em cada mistura foi de 2500 g de material anidro, suficiente para revestir três placas, sendo utilizando o mesmo misturador mecânico empregado para a produção da argamassa de chapisco industrializada, adotando o seguinte procedimento de mistura baseado na ABNT NBR 13276:2005:

- a) pesagem da massa de água e colocação no recipiente do misturador;
- b) pesagem do material seco e homogeneização com espátula (ainda no estado anidro);
- c) colocação no misturador de modo contínuo;
- d) mistura, na velocidade baixa, durante 30 s;
- e) retirada da pá e raspagem da pá e da superfície interna do misturador, no intervalo de 60s; e
- f) mistura, na velocidade baixa, por mais 90 s, até a obtenção de massa perfeitamente homogênea e sem grumos.

Durante o lançamento manual do chapisco com uso de uma colher de pedreiro foi empregada uma peneira com abertura de malha 4,8 mm, de modo a manter uniforme a rugosidade e espessura da camada de chapisco, com o tempo de utilização de 10 minutos, contados a partir do início da mistura. Após três horas de sua aplicação foi iniciada a cura do chapisco (cura úmida por aspersão de água), sendo realizada durante sete dias, com intervalos de 12 horas. A Figura 3.26 mostra painéis preparados com chapisco prontos para receber o revestimento de argamassa.

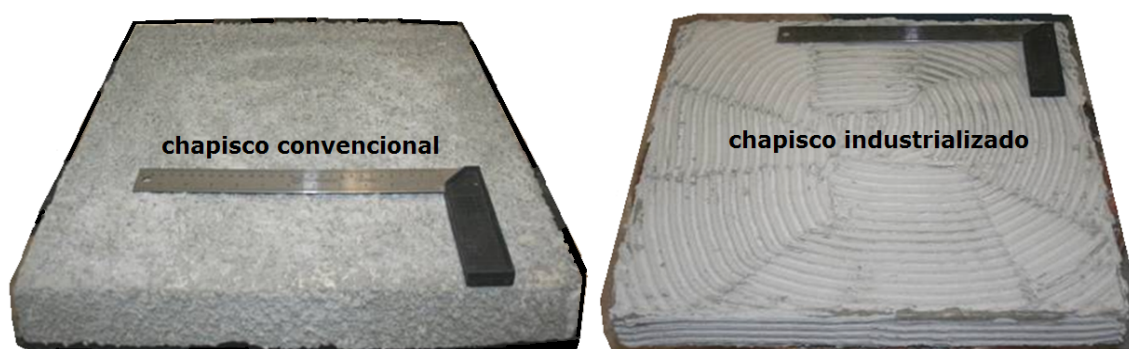


Figura 3.26 – Painéis preparados para receber o revestimento (chapisco convencional e chapisco industrializado).

#### 3.4.1.2 - Argamassa de revestimento das placas

Como revestimento das placas de concreto foi empregado dois tipos de argamassa, industrializada e mista, como mostra a Figura 3.27.

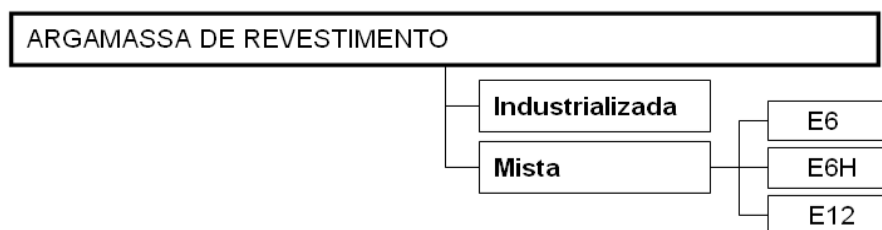


Figura 3.27 – Detalhamento da variável argamassa de revestimento.

A argamassa mista teve variações na composição, teor de aglomerantes (cimento e cal hidratada) e no volume de água. Deve-se lembrar que o procedimento para aplicação do revestimento começava após a colocação das placas de concreto (substrato) nas formas, com a aplicação da argamassa em duas camadas de mesma altura, cada uma delas adensada com auxílio de uma mesa vibratória de alta frequência, com tempo de vibração de 45 s, com a finalidade de obter um revestimento mais homogêneo possível.

### 3.4.1.3 - Espessura da camada de revestimento das placas

Foram escolhidas três espessuras para o revestimento em argamassa ( $H_{\text{revest.}}$ ). Na Figura 3.28 são apresentadas as espessuras adotadas para esse ensaio.

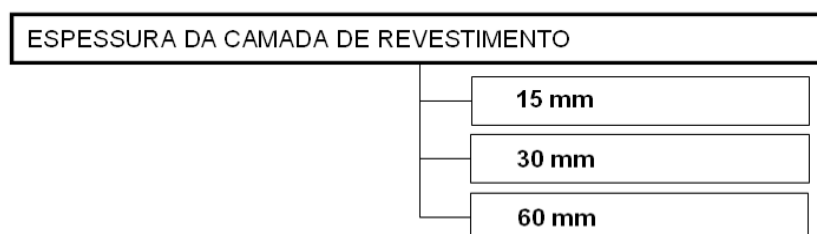


Figura 3.28 – Detalhamento da variável espessura da camada de revestimento.

O detalhe da camada de revestimento do corpo-de-prova é mostrado na Figura 3.29.

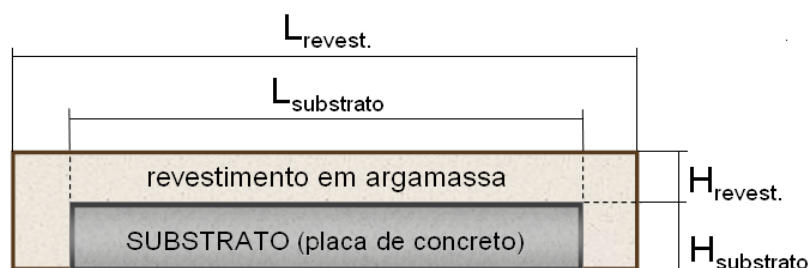


Figura 3.29 – Desenho esquemático do corte do corpo-de-prova do acompanhamento da movimentação superficial do revestimento.

A espessura de 30 mm foi eleita por ser o maior dentre os limites máximos admissíveis para revestimento com a utilização em camada única, uma vez que a ABNT NBR 13749:1996 estabelece os limites de espessuras, em milímetros, de  $(5 \leq e \leq 20)$  para revestimento de parede interna;  $(20 \leq e \leq 30)$  para revestimento de parede externa; e  $(e \leq 20)$  para revestimento de tetos internos e externos.

Já a espessura de 15 mm foi escolhida, dentre as menores possíveis de serem utilizadas nesta pesquisa, por apresentar mínimos sinais de interferência causados pela utilização dos sensores de deslocamento posicionados no interior dos revestimentos, além de representar a metade da dimensão de 30 mm. Esta espessura, apesar de parecer muito delgado, pode ser encontrada freqüentemente em especificações de projeto para revestimento interno.

Por ainda serem comumente observadas na execução dos revestimentos espessuras superiores aos limites admissíveis por norma, foi utilizada a espessura de 60 mm, que representa duas vezes a espessura de 30 mm, a e ainda de acordo com Paes (2004) por causar variações expressivas com relação à movimentação de água das argamassas frescas para os substratos porosos, em comparação à espessura de 30 mm. Embora, para execuções de revestimento com controle técnico rigoroso, exceda os limites adotados, esta espessura foi adotada com a intenção de se estudar a influência do fator espessura da camada de argamassa. A Tabela 3.12 mostra as dimensões finais dos corpos-de-prova após o recebimento da camada de argamassa revestimento.

Tabela 3.12 – Dimensões dos corpos-de-prova revestidos com argamassa.

| <b>Espessura Revestimento</b><br>$H_{\text{revest.}}$<br><b>(mm)</b> | <b>Altura</b><br>$H_{\text{revest.}} + H_{\text{substrato}}$<br><b>(mm)</b> | <b>Largura</b><br>$L_{\text{revest.}}$<br><b>(mm)</b> | <b>Comprimento</b><br>$C_{\text{revest.}} = L_{\text{revest.}}$<br><b>(mm)</b> |
|--|---|---|--|
| 15   | 75  | 530   | 530  |
| 30   | 90  | 560   | 560  |
| 60   | 120   | 620   | 620  |

#### 3.4.1.4 - Condição de exposição dos revestimentos das placas

Nesse experimento foram adotadas duas condições de exposição, conforme mostra a Figura 3.30.

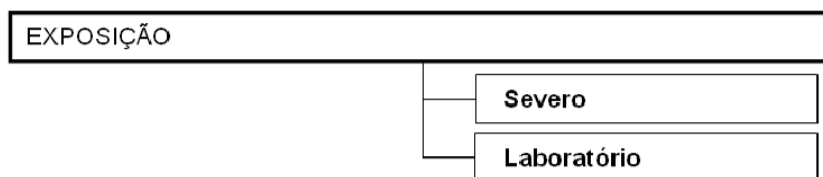


Figura 3.30 – detalhamento da variável condição de exposição.

A primeira caracteriza uma condição crítica de exposição do revestimento denominada de Condição Severa (Sev.) e a outra condição, mais moderada, chamada de Condição Laboratório (Lab.).

Na Condição Severa de exposição os corpos-de-prova, imediatamente após a aplicação da argamassa de revestimento, eram colocados sob um painel térmico permanecendo nesta condição durante sete dias (primeira etapa), conforme mostra a Figura 3.31.



Figura 3.31 – Ensaio - condição de exposição severa.

Esse painel, construído para a secagem da argamassa, possuía regulagem de altura e utilizava quatro lâmpadas infravermelhas de 250 W, por placa, atingido uma temperatura de  $(67 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ . Foi utilizada uma tela plástica (sombrite) nas laterais desse painel na tentativa de proteger e confinar os corpos-de-prova em um ambiente que não apresentasse variações bruscas de temperatura na superfície dos painéis.

Terminado o período de secagem inicial (primeira etapa) os corpos-de-prova eram colocados em ambiente de laboratório, com temperatura de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $(60 \pm 5)\%$ , até completarem 28 dias de moldados (segunda etapa).

Na Condição Laboratório de exposição, foram escolhidos apenas os corpos-de-prova revestidos com argamassa E6 e espessura de 30 mm. As amostras foram colocadas em



ambiente de laboratório a partir do momento da aplicação do revestimento, permanecendo durante 28 dias.

#### 3.4.1.5 - Nomenclatura adotada para os corpos-de-prova do para o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento

A nomenclatura escolhida representa, primeiramente, a forma de preparação usada na base, seguido do tipo de argamassa, da espessura do revestimento e da situação de exposição inicial das amostras. Na Tabela 3.13, descreve-se detalhadamente a nomenclatura que será utilizada.

Tabela 3.13 – Nomenclatura dos corpos-de-prova do acompanhamento da movimentação superficial do revestimento.

| <b>Nomenclatura</b> | <b>Preparação de Base</b> | <b>Argamassa</b> | <b>Espessura</b> | <b>Condição de Exposição</b> |
|---------------------|---------------------------|------------------|------------------|------------------------------|
| SC.AME6.30_Lab.     | Sem Chapisco              | Mista – E6       | 30 mm            | Laboratório                  |
| CI.AME6.30_Lab.     | Chapisco Industrializado  | Mista – E6       | 30 mm            | Laboratório                  |
| CC.AME6.30_Lab.     | Chapisco Convencional     | Mista – E6       | 30 mm            | Laboratório                  |
| SC.AI.30_Sev.       | Sem Chapisco              | Industrializada  | 30 mm            | Severo                       |
| CI.AI.30_Sev.       | Chapisco Industrializado  | Industrializada  | 30 mm            | Severo                       |
| CC.AI.30_Sev.       | Chapisco Convencional     | Industrializada  | 30 mm            | Severo                       |
| SC.AME6.30_Sev.     | Sem Chapisco              | Mista – E6       | 30 mm            | Severo                       |
| CI.AME6.30_Sev.     | Chapisco Industrializado  | Mista – E6       | 30 mm            | Severo                       |
| CC.AME6.15_Sev.     | Chapisco Convencional     | Mista – E6       | 15 mm            | Severo                       |
| CC.AME6.30_Sev.     | Chapisco Convencional     | Mista – E6       | 30 mm            | Severo                       |
| CC.AME6.60_Sev.     | Chapisco Convencional     | Mista – E6       | 60 mm            | Severo                       |
| CC.AME6H.30_Sev.    | Chapisco Convencional     | Mista – E6H      | 30 mm            | Severo                       |
| CC.AME12.30_Sev.    | Chapisco Convencional     | Mista – E12      | 30 mm            | Severo                       |



### 3.4.2 - Determinação da movimentação superficial do revestimento

Para acompanhar a movimentação superficial do revestimento de argamassa foram colados nove elementos metálicos (referenciais), em cada corpo-de-prova, duas horas depois de sua moldagem, sendo: um no centro e os outros oito distribuídos radialmente na superfície da placa (Figura 3.32). Cabe ressaltar que a distância entre esses pontos e o centro era de aproximadamente 200 mm.

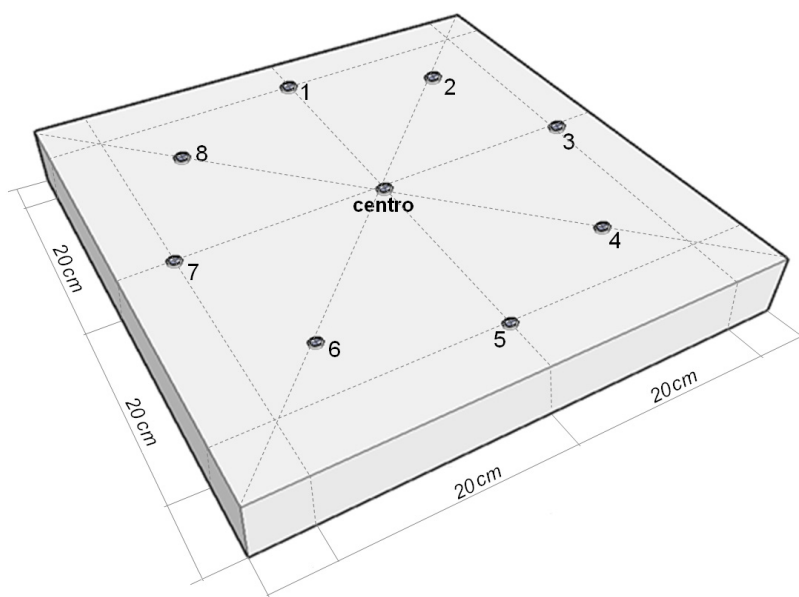


Figura 3.32 – Ilustração do corpo-de-prova com a localização e identificação dos pontos para o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento.

As variações dimensionais durante os ensaios, em ambas as condições, foram acompanhadas utilizando-se um retratômetro analógico, com precisão de 0,002 mm (Figura 3.33). A primeira leitura foi realizada após três horas da aplicação do revestimento, e as medidas seguintes foram feitas depois de doze horas da moldagem das placas e depois seguiram a um intervalo de 24 horas umas das outras, sendo repetido até a placa completar 28 dias de sua moldagem.

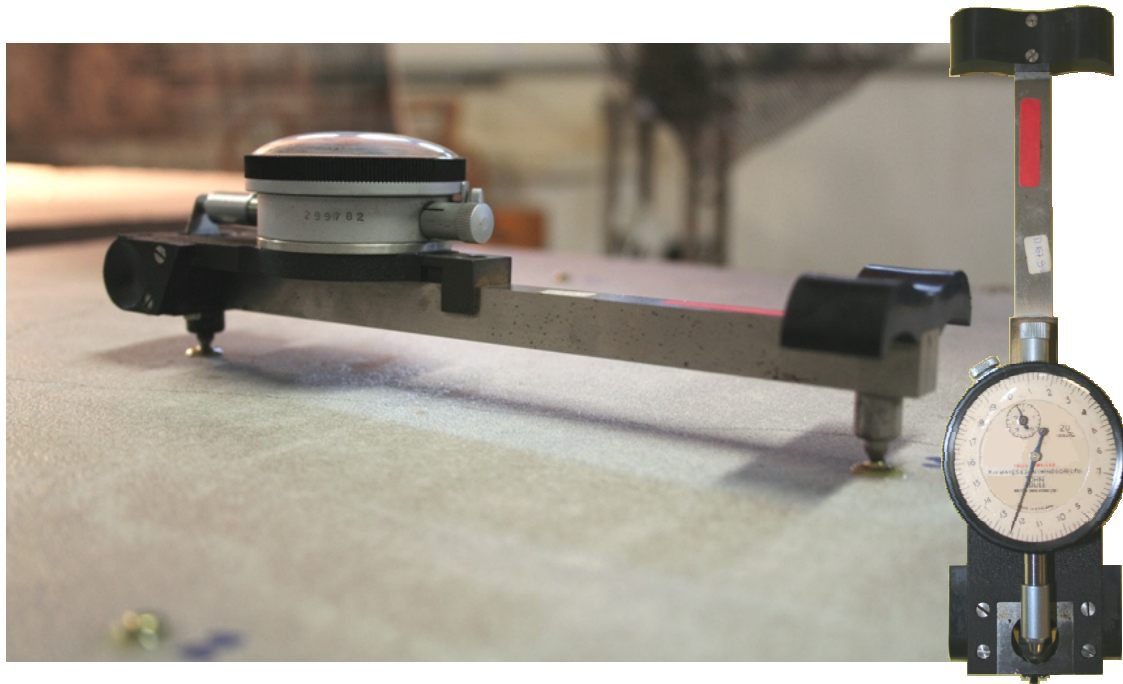


Figura 3.33 – Pontos para acompanhamento da movimentação superficial do revestimento fixados no corpo-de-prova.

### 3.4.3 - Acompanhamento da fissuração do revestimento

Tanto o surgimento quanto a evolução da fissuração foram acompanhados em cada amostra durante todo o período do ensaio. As fissuras foram classificadas de acordo com a abertura com uso de uma lupa e um fissurômetro, sendo quantificado através da soma das medidas de seus comprimentos, em milímetros, dividido pelo valor da área total da superfície do revestimento do corpo-de-prova, em metros quadrado.



Figura 3.34 – Lupa e fissurômetro utilizados no levantamento das fissuras do revestimento.

### **3.4.4 - Acompanhamento do descolamento do revestimento**

Já para o descolamento, a região solta foi estimada através de percussão com uso de um pequeno martelo metálico e quantificada por sua área, em centímetros quadrado, dividida pela área total da superfície do revestimento do corpo-de-prova, em metros quadrado. A necessidade de quantificar a fissuração e o descolamento surgiu para justificar possíveis variações nas medidas da movimentação superficial e também para avaliar o desempenho de cada revestimento frente às duas condições de exposição das amostras.



Figura 3.35 – Martelo usado para detectar de regiões de descolamento do revestimento.

## **3.5 - ENSAIOS COMPLEMENTARES**

Após o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento percebeu-se a necessidade de realizar alguns ensaios complementares para auxiliar no entendimento do comportamento dos sistemas de revestimento pesquisados.

### **3.5.1 - Determinação da resistência de aderência à tração do revestimento**

Essa determinação foi realizada, em um dos três corpos-de-prova, após o encerramento do acompanhamento da retração superficial do revestimento. O ensaio de determinação da resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento foi realizado com base na ABNT NBR 15258:2005, sendo ensaiadas cinco amostras por variável, distribuídas conforme mostra a Figura 3.36.



Figura 3.36 – Ensaio de determinação da resistência de aderência do revestimento.

#### 3.5.1.1 - Determinação da resistência potencial de aderência à tração dos chapiscos

A avaliação da aderência dos chapiscos foi realizada como um complemento do ensaio de determinação da resistência potencial de aderência à tração dos revestimentos, para cada tipo de preparo do substrato, aos 28 dias em um corpo-de-prova, com dimensões de (500 x 500) mm. Esse ensaio foi realizado com base na ABNT NBR 15258:2005, sendo ensaiadas cinco amostras por variável.

#### 3.5.2 - Caracterização da microestrutura porosa do revestimento

Para a realização da caracterização da microestrutura porosa das argamassas foram preparadas amostras, com dimensões 5 mm x 5 mm x 15 mm, extraídas dos corpos-de-prova do acompanhamento da movimentação superficial dos revestimentos, das séries SC.AME6.30\_Lab.; SC.AME6.30\_Sev.; CI.AME6.30\_Sev.; CC.AME6.30\_Sev.; e SC.AI.30\_Sev., em duas regiões distintas, uma próxima a interface argamassa e substrato e outra próxima a superfície externa do revestimento, como mostra o esquema a seguir:

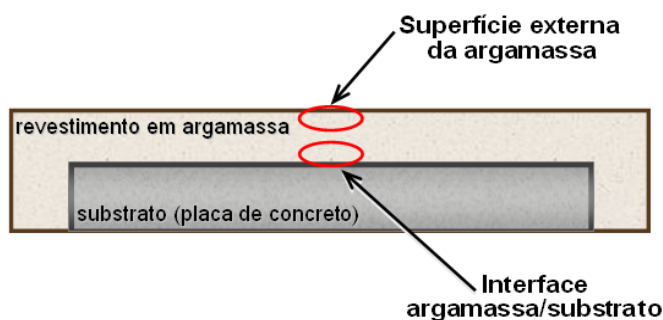


Figura 3.37 – Representação esquemática do corte do corpo-de-prova apresentando os locais de extração das amostras da argamassa para o ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio.

As amostras foram enviadas para o Laboratório de Materiais de Construção Civil da UNISINOS, no Rio Grande do Sul. No ensaio realizado, o mercúrio foi intrudido nas amostras de forma contínua e em velocidade média sendo considerado um ângulo de contato de  $140^\circ$  e uma tensão superficial do mercúrio de  $4,8 \cdot 10^{-1}$  N/m. O resultado do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio é expresso em volume de mercúrio intrudido em relação à massa total do corpo-de-prova, dado em  $\text{cm}^3/\text{g}$ .

### 3.5.3 - Avaliação da perda de água das argamassas de revestimento

Nesta fase tentou-se avaliar a perda de água das argamassas industrializada e mista E6, verificando qual é o grau de interferência do substrato e do tipo e composição das argamassas (Figura 3.38). Desta forma, espera-se encontrar algumas respostas para questões sobre este assunto ainda pouco discutidas pelo meio técnico e fundamentais para o desenvolvimento de pesquisas sobre retração.



Figura 3.38 – Fluxograma dos ensaios para avaliação da perda de água das argamassas de revestimento.

Para o desenvolvimento desse estudo, além da quantificação da perda de água da argamassa por evaporação e por absorção do substrato, se fez necessário levantar o percentual de água livre retirada pela absorção capilar do substrato. Deve-se lembrar que a parcela de água consumida pelas reações de hidratação dos aglomerantes foi desprezada, pois antes de iniciar os ensaios foram realizadas algumas quantificações da perda de massa em ambiente de câmara úmida (umidade relativa do ar superior a 95%), obtendo valores inferiores a 1% da massa total da argamassa ao longo de cinco horas.

No planejamento dos experimentos foi necessário adotar duas condições de exposição, similares as condições de secagem do acompanhamento da movimentação superficial do revestimento. A primeira caracteriza uma condição de exposição crítica do revestimento denominada como Condição 1 (Sev.) – com uso de painel térmico com regulagem de altura e quatro lâmpadas infravermelha de 250 W. Nesta condição, logo após o adensamento, o recipiente com argamassa foi acondicionado sob o painel para secagem chegando a atingir temperatura superficial de  $(67 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ . A outra condição foi escolhida para que pudesse servir de comparação, com temperatura e umidade relativa

controladas, chamada de Condição 2 (Lab.) – secagem em ambiente de laboratório, com temperatura de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $(60 \pm 5)\%$ .

### 3.5.3.1 - Determinação da perda de água das argamassas por evaporação.

Neste ensaio foram avaliadas as argamassas, industrializada e mista E6, colocadas em um recipiente metálico com dimensões internas de  $(250 \times 250 \times 30)$  mm, preenchido em duas camadas de mesma espessura, adensadas por vibração mecânica durante 30 s.

Nas duas condições de exposição o recipiente com argamassa permaneceu sobre uma balança com resolução de 0,01 g (Figura 3.39), para determinação dos valores da perda de massa com leituras efetuadas nos seguintes intervalos de tempo, em minutos: 1; 2; 3; 4; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 90; 105; 120; 150; 180; 240; 300; 360; 1440 (24 horas – 1 dia); 2880 (48 horas – 2 dias); 4320 (72 horas – 3 dias); 5760 (96 horas – 4 dias); 7200 (120 horas – 5 dias); 8640 (144 horas – 6 dias) e 10080 (168 horas – 7 dias), sendo também, acompanhada a temperatura superficial da argamassa além da temperatura e a umidade do ambiente.



Figura 3.39 – Determinação da perda de massa da argamassa por evaporação.

Para gerar os resultados do ensaio foram utilizadas as Equações (3.6) e (3.7) para traçar a curva de evaporação ao longo do tempo.



$$PA_{\text{evaporação}} = \left[ 1 - \left( \frac{M_{\text{conjunto}} - M_{\text{fôrma}}}{M_{\text{argamassa}}} \right) \right] \cdot 100 \quad (3.6)$$

Onde:

$PA_{\text{evaporação}}$  = perda de água por evaporação (%);

$M_{\text{conjunto}}$  = medida da massa do conjunto no tempo  $t$  (g);

$M_{\text{fôrma}}$  = medida da massa da fôrma (g); e

$M_{\text{argamassa}}$  = medida da massa inicial da argamassa (g);

$$M_{\text{argamassa}} = M_{\text{conjunto1}} - M_{\text{fôrma}} \quad (3.7)$$

Onde:

$M_{\text{conjunto1}}$  = medida da massa inicial do conjunto (g).

### 3.5.3.2 - Determinação da perda de água das argamassas por absorção e evaporação.

Nesta fase a avaliação para determinação da perda de água foi adaptada do método usado por Scartezini (2002), Leal (2003) e Paes (2004) para tentar identificar regiões da camada de argamassa com diferentes conteúdos de umidade, após a aplicação sobre o substrato poroso. Esse ensaio serviu para verificar qual é o grau de interferência do tipo, da espessura da camada de revestimento e do substrato

Os substratos utilizados para a realização deste ensaio foram placas de concreto, com dimensões de (250 x 250) mm, sem chapisco, com chapisco convencional e com chapisco industrializado. Para não impossibilitar a comparação entre os três tipos de preparo de superfície adotados, devido a diferenças na textura superficial (relevo das faces) ocasionadas pelo uso dos chapiscos (convencional e industrializado), optou-se por aplicá-los na posição horizontal, com uso de uma colher de pedreiro, pressionando a argamassa de chapisco sobre o substrato, garantindo que toda a superfície fosse coberta. Essa camada foi nivelada com uso de uma régua metálica, evitando alisar a superfície, formando uma camada plana e com acabamento uniforme, com espessura de aproximadamente 5 mm. As placas, que receberam os chapiscos, foram submetidas à cura úmida por 7 dias, e só receberam o revestimento em argamassas aos 28 dias.



A aplicação da argamassa mista e da industrializada aos substratos foi feita em duas camadas de mesma altura, adensadas por vibração mecânica com tempo de 45 s por camada (procedimento similar ao adotado nos corpos-de-prova usados para o acompanhamento da movimentação externa do revestimento). A superfície foi nivelada com uso de uma régua metálica, formando uma camada com espessura de aproximadamente 30 mm e com acabamento uniforme.

As amostras foram retiradas e separadas em duas camadas de 15 mm de espessura, com utilização de uma espátula e um gabarito, sendo a primeira camada da região da superfície até a metade da espessura do revestimento e a segunda na região da outra metade até a interface com o substrato, nos seguintes intervalos tempo, em minutos, de: 1; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 90; 105; 120; 150; 180; 240; e 300. Cada camada retirada era então acondicionada, imediatamente, em papel alumínio e encaminhada para a pesagem, em balança com precisão de 0,0001 g e levadas para a secagem em estufa à 100°C até obter a constância de massa.



Figura 3.40 – Determinação da perda de massa da argamassa por absorção e evaporação.

Para o cálculo da perda de água, foi usada a massa cada amostra retirada nos tempos determinados e após a secagem, sendo determinado o teor de umidade da argamassa antes da aplicação, o teor em cada tempo determinado e, por fim, foi determinado o percentual de perda de água, em relação ao teor de umidade da argamassa.

A avaliação da perda de água da argamassa para o substrato foi feita com a comparação dos valores dos dois momentos medidos, em cada camada, como mostra a (3.8):

$$U_{camada} = \frac{(M_{úmida} - M_{seca})}{M_{seca}} \quad (3.8)$$

Onde:

$U_{camada}$  = umidade da camada;

$M_{úmida}$  = massa da amostra úmida no tempo  $t$  (g); e

$M_{seca}$  = massa da amostra seca (g).

Para realização desse ensaio foram utilizadas, em cada condição de exposição, três amostras por variação de substrato. Com os resultados, foi traçado um perfil da perda de água em função da raiz quadrada do tempo.

### 3.5.3.3 - Determinação da absorção capilar de água livre pelos substratos

Para caracterizar a absorção de água pelos substratos foram preparados para cada variável (tipo de substrato) três corpos-de-prova, com dimensões de (250 x 250) mm. Essas amostras tiveram as suas laterais isoladas com resina de base epóxi, servindo para evitar a interferência dessas áreas na absorção.

As amostras receberam os chapiscos (convencional e industrializado) seguindo o mesmo procedimento adotado na preparação dos substratos usados para a determinação da perda de água das argamassas por absorção e evaporação.

Essa caracterização se deu através de ensaios para a determinação da absorção capilar de água livre pelos substratos ao longo do tempo, sendo realizada em ambiente de laboratório, com temperatura de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $(60 \pm 5)\%$ , nos seguintes intervalos de tempo, em minutos: 1; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 90; 105; 120; 150; 180; 240, 300, 1440 (24 horas); 2880 (48 horas).

Com os resultados, foi traçado um perfil da evolução da absorção de água em função da raiz quadrada do tempo e foi calculado a absorvidades, com uso da Equação (2.12).

### 3.6 - ACOMPANHAMENTO DA MOVIMENTAÇÃO INTERNA DO REVESTIMENTO

Deve-se ressaltar que a maior dificuldade desta fase estava na medição da retração antes da argamassa passar para o estado endurecido. A justificativa da necessidade para obtenção das medidas dessas deformações na fase plástica está na afirmação de que o fenômeno da evaporação em camadas de argamassas de pouca espessura é mais importante nas primeiras horas após o lançamento.

Optou-se por mensurar a movimentação do revestimento com uso de transdutores de deslocamento linear. Deve-se salientar que esse ensaio foi baseado na metodologia empregada por Bastos (2001) para a execução do ensaio de retração no estado fresco. A seguir, na Figura 3.41, são apresentadas as variáveis dessa determinação.

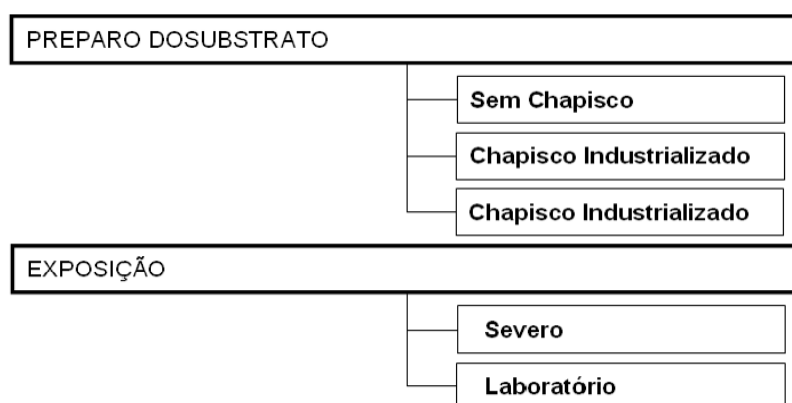


Figura 3.41 – Detalhamento das variáveis independentes do acompanhamento da movimentação interna do revestimento.

Para a execução dessa etapa as placas de concreto desenvolvidas para a determinação da movimentação superficial do revestimento foram cortadas, com serra circular com disco diamantado para corte úmido, em três pedaços de 160 mm de largura por 500 mm de comprimento. A Tabela 3.14 apresenta a nomenclatura dos corpos-de-prova para esse acompanhamento. Deve-se lembrar que foi usada uma amostra para cada variável adotada.

Tabela 3.14 – Nomenclatura dos corpos-de-prova do acompanhamento da movimentação interna do revestimento.

| <b>Nomenclatura</b>    | <b>Preparação de Base</b> | <b>Argamassa</b> | <b>Espessura</b> | <b>Altura do Sensor</b> | <b>Condição de Exposição</b> |
|------------------------|---------------------------|------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|
| SC.AME6.30_Lab.(MI-25) | Sem Chapisco              | Mista – E6       | 30 mm            | 25 mm                   | Laboratório                  |
| CI.AME6.30_Lab.(MI-25) | Chapisco Industrializado  | Mista – E6       | 30 mm            | 25 mm                   | Laboratório                  |
| CC.AME6.30_Lab.(MI-25) | Chapisco Convencional     | Mista – E6       | 30 mm            | 25 mm                   | Laboratório                  |
| SC.AME6.30_Lab.(MI-25) | Sem Chapisco              | Mista – E6       | 30 mm            | 25 mm                   | Laboratório                  |
| CI.AME6.30_Lab.(MI-25) | Chapisco Industrializado  | Mista – E6       | 30 mm            | 25 mm                   | Laboratório                  |
| CC.AME6.30_Lab.(MI-10) | Chapisco Convencional     | Mista – E6       | 30 mm            | 10 mm                   | Laboratório                  |
| CC.AME6.30_Lab.(MI-20) | Chapisco Convencional     | Mista – E6       | 30 mm            | 20 mm                   | Laboratório                  |
| CC.AME6.30_Lab.(MI-25) | Chapisco Convencional     | Mista – E6       | 30 mm            | 25 mm                   | Laboratório                  |
| SC.AME6.30_Sev.(MI-25) | Sem Chapisco              | Mista – E6       | 30 mm            | 25 mm                   | Severo                       |
| CI.AME6.30_Sev.(MI-25) | Chapisco Industrializado  | Mista – E6       | 30 mm            | 25 mm                   | Severo                       |
| CC.AME6.30_Sev.(MI-25) | Chapisco Convencional     | Mista – E6       | 30 mm            | 25 mm                   | Severo                       |

Após a preparação os substratos tiveram a sua superfície superior e as duas laterais de 160 mm revestidas com uma camada de 30 mm de espessura de argamassa, representando uma fatia central do corpo-de-prova usado no ensaio de acompanhamento da retração no estado endurecido.

Para a colocação do revestimento desses corpos-de-prova foi confeccionada uma forma com dimensões internas de 16,5 cm de largura por 56 cm, usando peças de compensado plastificado de 1,7 cm de espessura para construir as laterais e uma placa de aço de 70 cm de comprimento por 25 cm de largura com 2 cm de espessura como base com função de apoio para fixação dos suportes magnéticos que sustentavam os transdutores de deslocamento (Figura 3.42). Para evitar a aderência do revestimento e diminuir o atrito do sistema com as superfícies internas da fôrma e da placa de aço foi aplicada uma fina camada de óleo mineral com um pincel e retirado o excesso com pano absorvente.

Nas duas laterais posicionadas nas extremidades dessa fôrma, foi feito um pequeno furo e colocado um tubo metálico com diâmetro interno de 2 mm por onde passava uma haste metálica com 150 mm de comprimento por 1,5 mm de diâmetro. A folga entre o furo e a haste era preenchida com vaselina em pasta para impedir a entrada de argamassa e facilitar o deslizamento do conjunto.

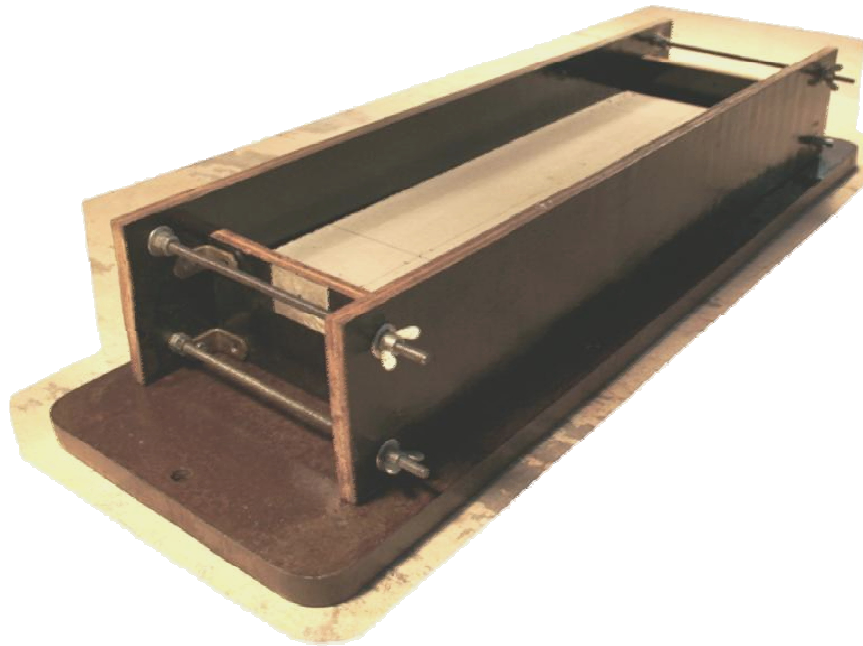


Figura 3.42 – Substrato colocado dentro da forma antes de receber o revestimento.

Na extremidade da haste que ficava do lado interno da fôrma, foi fixada por solda de estanho uma placa metálica, com dimensões de 25 mm por 55 mm e espessura de 0,35 mm com furos feitos por punção para dar aderência mecânica (Figura 3.43), que ficava posicionada a 25 mm do substrato no interior da argamassa, para transmitir à haste a movimentação horizontal do revestimento durante a secagem.

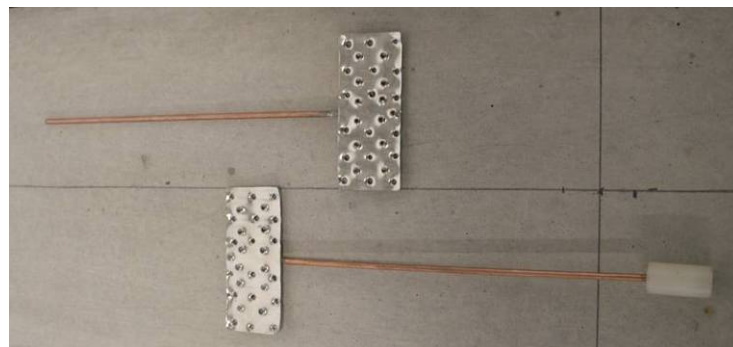


Figura 3.43 – Conjunto haste e grelha.

Após 7 dias da preparação do substrato a argamassa E6 era aplicada ao molde em camada única, adensada com emprego de um soquete plástico, pois não foi possível o uso da mesa vibratória devido à mudança de posição do aparato de medição das deformações do revestimento ocasionada por esse tipo de adensamento.

Na outra extremidade da haste, acoplado por um adaptador de náilon, foi instalado um transdutor de deslocamento linear, com precisão de 0,01 mm, para acompanhamento das deformações horizontais interna.

Usou-se outro transdutor de deslocamento, com mesma precisão, que tinha sua haste apoiada sobre uma pequena placa metálica fixada na superfície da argamassa, no centro do corpo-de-prova, para acompanhar a movimentação vertical do revestimento. As leituras eram transmitidas pelos transdutores, com intervalo de tempo de cinco minutos, para um sistema de aquisição de dados que fazia o registro direto e contínuo dessas informações durante as primeiras 30 horas de ensaio.

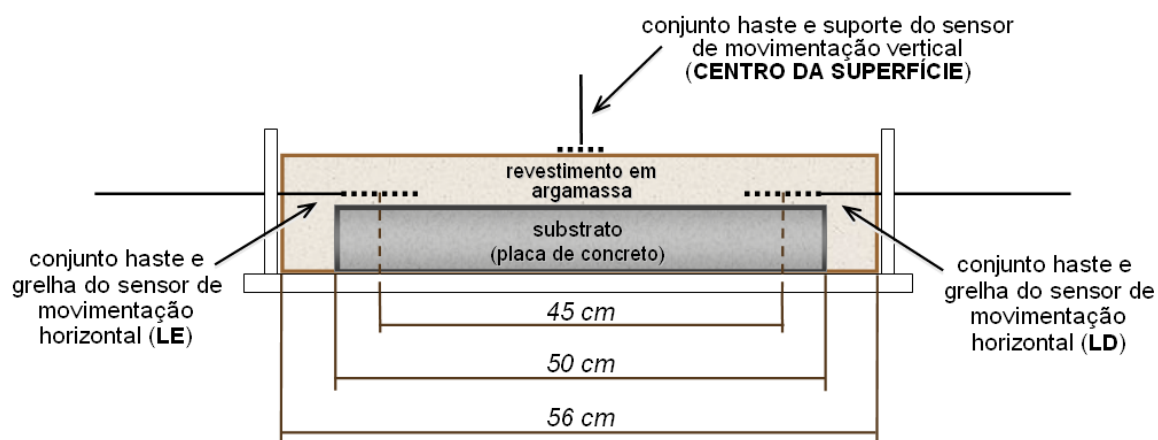


Figura 3.44 – Esquema mostrando do corpo-de-prova do acompanhamento da movimentação interna do revestimento em corte.

Após 45 minutos da aplicação da argamassa as laterais, presas por parafusos, eram soltas, para evitar o confinamento do revestimento. Os corpos-de-prova foram submetidos às mesmas condições de exposição do ensaio anterior (Condição 1 (Sev.) - secagem com uso de painel térmico e Condição 2 (Lab.) - secagem em ambiente de laboratório) logo após a sua moldagem e permaneciam nesta condição durante 48 horas.

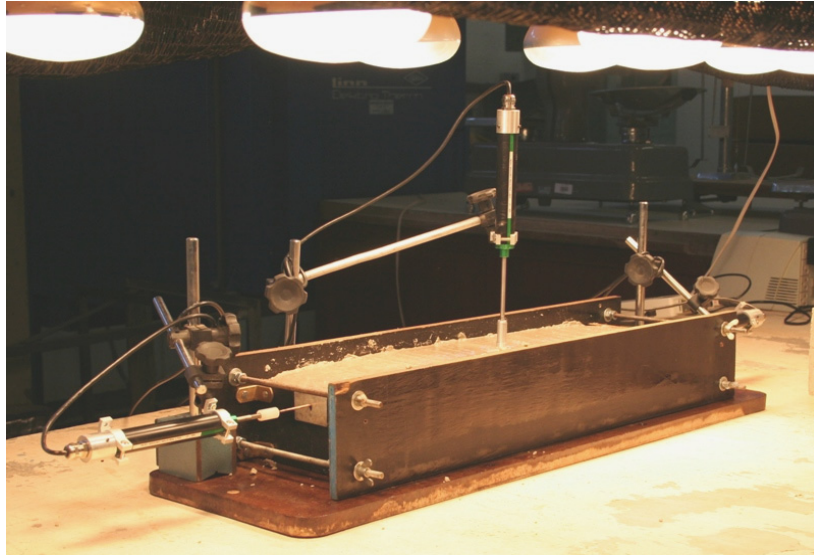


Figura 3.45 – Ensaio de determinação da movimentação interna do revestimento.

Durante o ensaio surgiu à necessidade de obter a deformação em outras espessuras e para isso, foi confeccionado mais um corpo-de-prova com substrato de concreto com chapisco convencional exposto a condição de secagem em ambiente de laboratório (condição 2) para acompanhamento da movimentação interna do revestimento utilizando sensores posicionados a uma distância de 10 mm e de 20 mm do substrato (Figura 3.46).

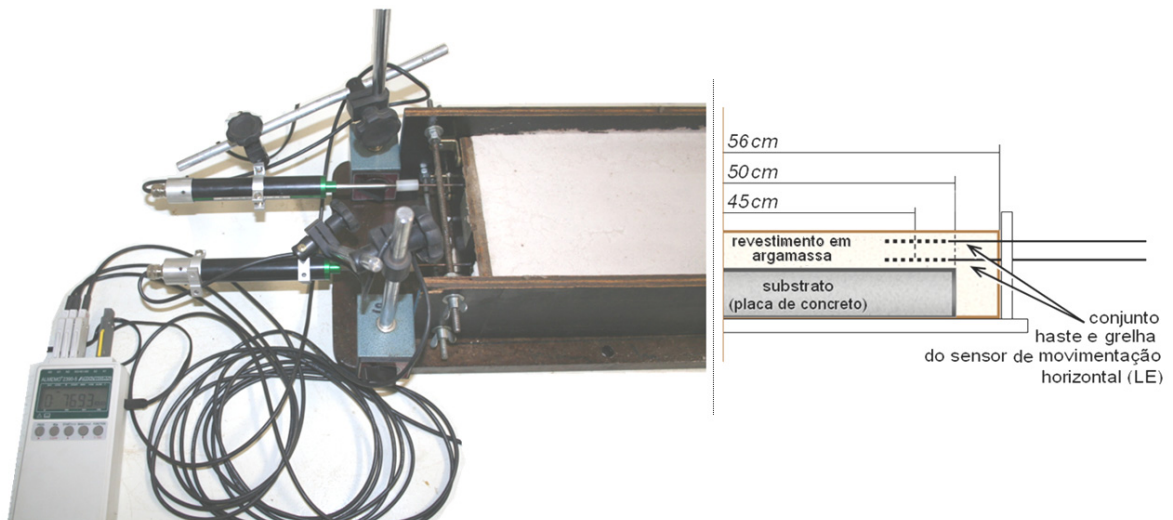


Figura 3.46 – Detalhe do corpo-de-prova do acompanhamento da movimentação interna do revestimento com dois sensores paralelos.



## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este capítulo traz os resultados obtidos no programa experimental da tese e a sua discussão. Primeiramente são expostos os valores relativos aos ensaios realizados nas argamassas, no estado fresco e endurecido, e a sua classificação de acordo com a ABNT NBR 13281:2005. Em seguida, apresentam-se os valores dos resultados dos ensaios dos substratos frente as suas características físicas de absorção de água livre, acompanhados dos gráficos do transporte de água da argamassa por evaporação e por absorção pelos substratos porosos em duas regiões distintas. Posteriormente, mostram-se os resultados relacionados à movimentação do revestimento a base de argamassa e os resultados de resistência de aderência à tração das argamassas realizadas nos corpos-de-prova utilizados nesse ensaio. Por fim, são apresentadas as características de porosidade das argamassas submetidas ao ensaio de movimentação superficial (porosimetria por intrusão de mercúrio). Faz-se necessário colocar que ao final da apresentação desses resultados ocorre uma breve comparação dos resultados obtidos onde é feita uma classificação dos principais fatores intervenientes na movimentação do revestimento.

### 4.1.1 - Resultados da caracterização das argamassas

Os resultados médios dos ensaios de caracterização das argamassas de revestimento no estado fresco são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 4.1 – Resultados do ensaio de caracterização das argamassas no estado fresco.

| Determinação                            | E6   | E6H  | E8   | E10  | E12  | AI   |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Densidade de massa (kg/m <sup>3</sup> ) | 1931 | 1923 | 1928 | 1927 | 1920 | 1788 |
| Teor de ar incorporado_grav (%)         | 5,6  | 4,9  | 5,7  | 5,5  | 5,4  | 18,3 |
| Teor de ar incorporado_pres (%)         | 4,4  | 4,1  | 4,5  | 4,6  | 4,5  | 16,5 |
| Índice de consistência_mesa (mm)        | 224  | 262  | 238  | 246  | 249  | 250  |
| Retenção de água (%)                    | 71   | 67   | 71   | 72   | 72   | 78   |
| Índice de consistência_cone (mm)        | 61   | 64   | 58   | 58   | 56   | 52   |
| Tensão de escoamento_vane (kPa)         | 1,09 | 1,18 | 1,17 | 1,21 | 1,26 | 1,23 |



A Figura 4.1 apresenta o resultado da composição das argamassas mistas, após a mistura.

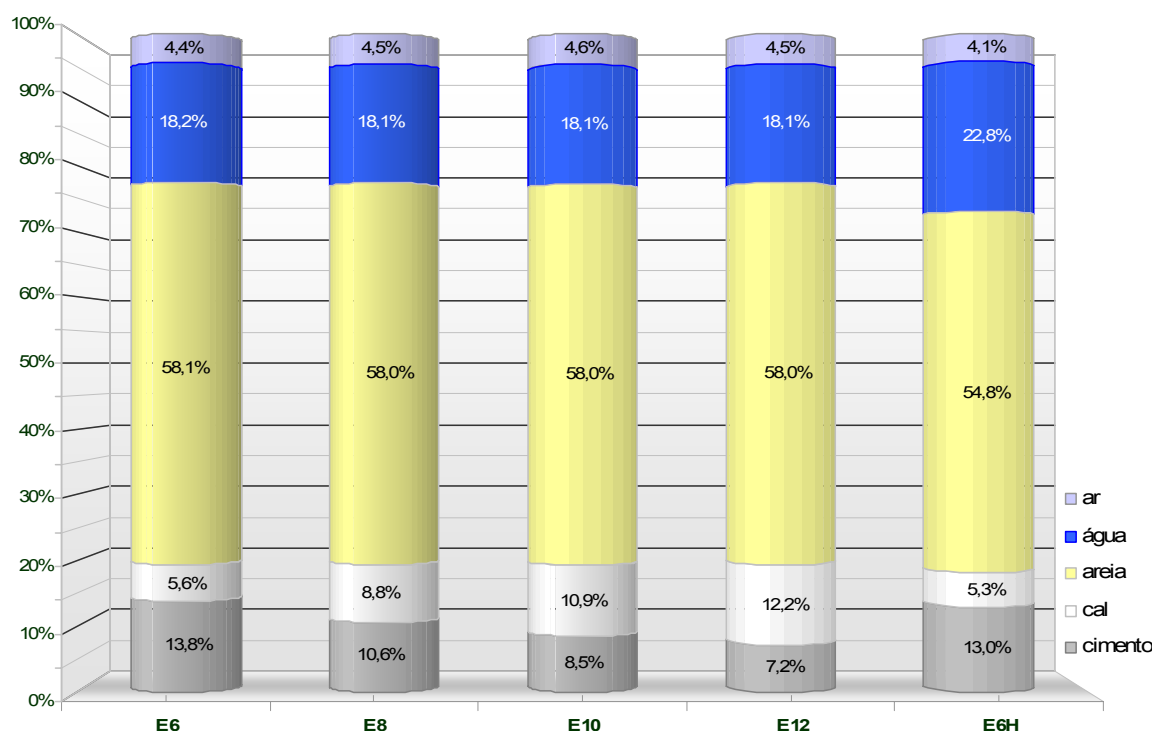


Figura 4.1 – Composição das argamassas mistas após a mistura, em volume.

A Tabela 4.2 apresenta os resultados médios dos ensaios de caracterização, no estado endurecido, das argamassas empregadas no revestimento, aos 28 dias.

Tabela 4.2 – Resultados do ensaio de caracterização das argamassas no estado endurecido.

| Determinação  | E6   | E6H  | E12  | AI   |
|---|------|------|------|------|
| Resistência à compressão (MPa)  | 3,3  | 2,7  | 2,2  | 4,8  |
| Densidade de massa aparente (kg/m <sup>3</sup> )                      | 1804 | 1794 | 1789 | 1757 |
| Resistência à tração na flexão (MPa)                                  | 1,4  | 0,9  | 0,8  | 1,6  |
| Módulo de deformação (GPa)  | 0,82 | 0,73 | 0,68 | 0,57 |
| Coefficiente de capilaridade (g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ) | 1,5  | 1,5  | 1,7  | 0,9  |
| Resistência potencial de aderência (MPa)                              | 0,26 | -    | -    | 0,28 |
| Absorção de água (%)  | 16   | 17   | 16   | 15   |
| Índice de vazios (%)  | 21   | 25   | 23   | 22   |
| Variação dimensional (mm/m)   | 0,33 | 0,34 | 0,38 | 0,25 |

Vale lembrar que as argamassas, mistas e industrializada, destinadas ao revestimento de paredes e tetos devem cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 13281:2005. A classificação conforme as características e propriedades que apresentam, determinadas pelos métodos de ensaio especificados, é mostrada na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Classificação das argamassas conforme a ABNT NBR 13281:2005.

| <b>Determinação</b>                         | <b>E6</b> | <b>E6H</b> | <b>E12</b> | <b>AI</b> |
|---|-----------|------------|------------|-----------|
| Resistência à compressão                    | P3        | P3         | P2         | P4        |
| Densidade de massa aparente                 | M5        | M4         | M4         | M4        |
| Resistência à tração na flexão              | R2        | R1         | R1         | R2        |
| Coefficiente de capilaridade                | C2        | C2         | C2         | C1        |
| Densidade de massa no estado fresco         | D5        | D5         | D5         | D4        |
| Retenção de água                            | U1        | U1         | U1         | U2        |
| Resistência potencial de aderência à tração | A2        | -          | -          | A2        |

Sabendo que o cimento é considerado o principal responsável pelo desenvolvimento das propriedades mecânicas das argamassas de revestimento, é importante ressaltar que a elevação do teor desse aglomerante na mistura pode ser considerada positiva, do ponto de vista da resistência de aderência à tração, mas o mesmo pode ter efeito desfavorável, no caso do módulo de deformação da argamassa, pois pode aumentar demasiadamente, tornando o sistema de revestimento pouco deformável o que pode contribuir para o aumento do risco de fissuração e até deslocamento de parte do revestimento.

Com os resultados de caracterização das argamassas obtidos observou-se, também, que a utilização da cal na composição das argamassas de revestimento pode ser considerada favorável, principalmente, no que diz respeito as suas propriedades no estado fresco, com influência direta na trabalhabilidade. De acordo com Cincotto et al. (1995) essa influência é devida ao estado de coesão interna que a cal proporciona, em função da diminuição da tensão superficial da pasta aglomerante e da adesão às partículas de agregado. Outra propriedade influenciada no estado fresco foi a retenção de água, que

auxilia no desenvolvimento da hidratação em fases mais avançadas, evitando possíveis problemas de fissuração ocasionados por retração, fatores estes com implicância direta no desempenho dos sistemas de revestimento. Conforme cita Carasek et al. (2001) as argamassas que contém cal preenchem mais facilmente e, de maneira mais completa, toda a superfície do substrato, propiciando maior extensão de aderência. Entretanto, cabe lembrar que o uso deste material deve ser acompanhado de avaliações e ajustes prévios, uma vez que teores em excesso podem influenciar negativamente no desempenho do sistema de revestimento, contribuindo, principalmente, para o surgimento de fissuras ao longo do revestimento.

## 4.2 - RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSTRATOS

Os resultados de absorção total de água e absortividade dos substratos de concreto sem chapisco, com revestimento de chapisco tradicional e chapisco industrializado são mostrados na Tabela 4.4

Tabela 4.4 – Resultados de absorção total de água e absortividade dos substratos.

| Preparação de Base<br>(chapisco) | Absorção Total (%) |       | Absortividade (mm.min <sup>-1/2</sup> ) |       |
|----------------------------------|--------------------|-------|---|-------|
|                                  | Média              | CV(%) | Média                                   | CV(%) |
| Sem (SC)                         | 16,3               | 4,3   | 0,38                                    | 2,7   |
| Industrializado (CI)             | 13,7               | 4,6   | 0,57                                    | 3,2   |
| Convencional (CC)                | 12,2               | 4,1   | 0,70                                    | 2,9   |

Com os valores obtidos no ensaio foram traçados os perfis da evolução da absorção de capilar da água livre pelos substratos secos e absorventes em função da raiz quadrada do tempo, apresentados no gráfico da Figura 4.2

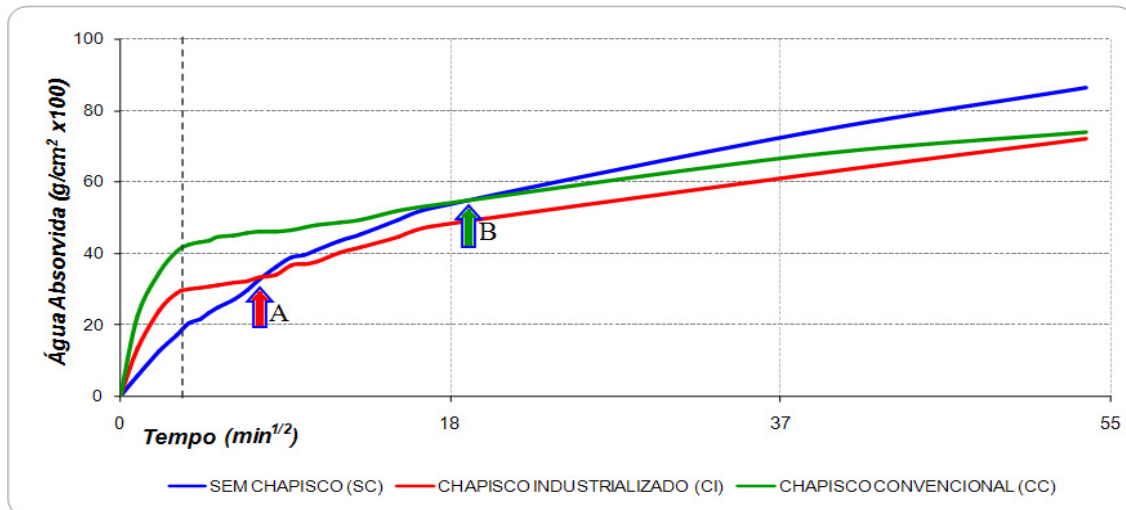


Figura 4.2 – Resultados do ensaio de determinação da absorção capilar de água livre pelos substratos.

Através dos resultados obtidos notou-se que cada tipo de preparo de base apresenta comportamentos diferentes com relação à quantidade de água absorvida ao longo do tempo.

Comparando as bases revestidas com chapisco pode-se dizer que possuem comportamentos similares, quanto à absorção de água, apresentado nos primeiros instantes do ensaio as maiores velocidades de absorção (representada pela inclinação da curva) quando comparadas ao sem chapisco. Nesse primeiro período (0 a 15 min de ensaio) a amostra revestida com chapisco convencional absorveu a maior quantidade de água, com o valor médio, de três amostras, igual a 42,3 g/cm<sup>2</sup> enquanto, o substrato sem chapisco absorveu aproximadamente 50% a menos. Essa diferença pode ser acompanhada, também, pelos valores de absorvidade apresentados na tabela anterior.

Nas amostras revestidas com chapisco, observa-se que a mudança de velocidade após os 15 primeiros minutos de ensaio pode ser causada pela saturação da maioria dos poros existentes na camada de chapisco, que possui aproximadamente 5 mm de espessura. A partir desse momento essa camada passa a exercer pouca interferência na absorção de água, passando a camada seguinte, concreto, a reger o comportamento da absorção. Deve-se notar que a partir de um determinado momento, raiz de tempo em minutos maior do que 18, as inclinações das curvas dos substratos com revestimento de

chapisco se aproximam a da curva do substrato sem chapisco, ou seja, as velocidades de absorção ficam próximas umas das outras.

Após uma hora de ensaio a quantidade de água absorvida pelo substrato sem chapisco passou a ser maior do que a do substrato revestido com chapisco industrializado (representada no gráfico pela seta A) e com, aproximadamente, cinco horas de ensaio a quantidade absorvida de água passou a ser a maior do que a absorvida pelo substrato com revestimento de chapisco convencional (representada no gráfico pela seta B).

No final do ensaio a quantidade de água absorvida pelas amostras com chapisco ficou muito próxima, com uma diferença de cerca de 1%, uma da outra. A maior quantidade média total de água absorvida foi de 86,4 g/cm<sup>2</sup> obtida pela amostra sem chapisco.

Dessa forma, observa-se que o chapisco exerce uma inferência no perfil de absorção do substrato, colocado na literatura como regulador da absorção de água pela base. Espera-se que, além de incrementar a aderência do revestimento, essa diferença apresentada entre a absorção de água livre pelos substratos ao longo do tempo venha causar mudanças de comportamento da movimentação do revestimento.

### **4.3 - DETERMINAÇÃO DA PERDA DE ÁGUA DAS ARGAMASSAS**

#### **4.3.1 - Resultados da determinação da perda de água das argamassas por evaporação.**

Os resultados do ensaio para determinação da perda de água da argamassa industrializada (AI) e da argamassa mista (AME6), nas duas condições de exposição (exposição na condição severa - Sev. e na condição de laboratório - Lab.) em função da raiz quadrada do tempo, são apresentadas na Figura 4.3 em forma de gráfico.

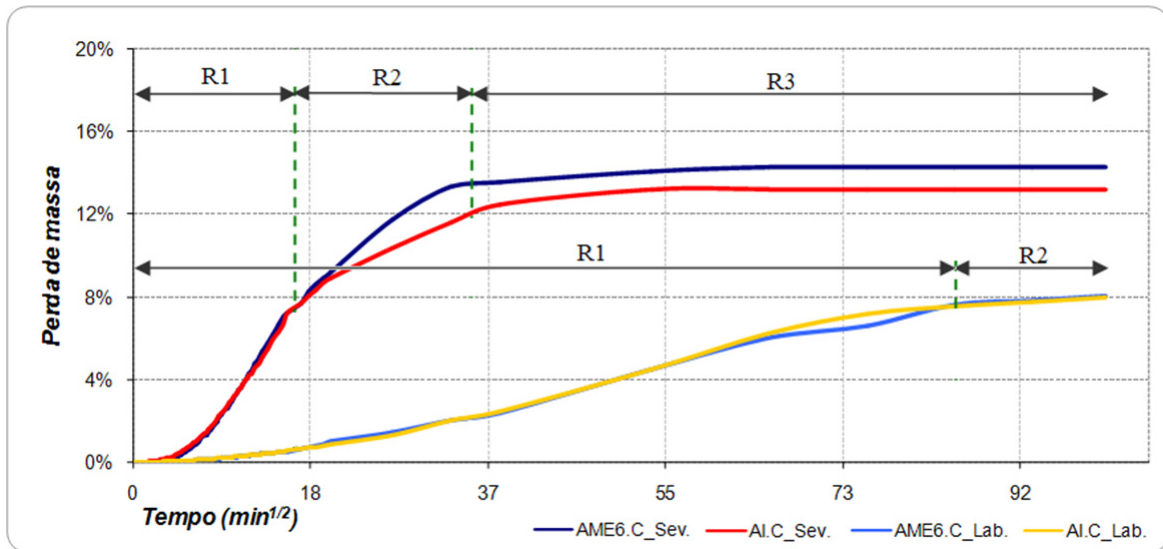


Figura 4.3 – Resultados da determinação da perda de massa das argamassas de revestimento AME6 e AI por evaporação, nas condições Sev. e Lab. de exposição.

Inicialmente deve-se lembrar que a água utilizada na mistura corresponde a aproximadamente 16% da massa total das argamassas utilizadas nessa determinação. Considera-se, também, que a perda de massa observada no ensaio é referente apenas à evaporação da água das argamassas.

As curvas obtidas mostram diferenças típicas entre as duas condições de exposição, praticamente independente do tipo de argamassa. A velocidade da perda de massa nos momentos iniciais do ensaio (de zero até aproximadamente raiz do tempo em minutos igual a 15) é bem maior nas argamassas sujeitas à exposição na condição severa de secagem onde, além da elevada temperatura, a baixa umidade ajuda na retirada da água das argamassas, ocasionando uma grande diferença nos percentuais de perda de massa. Quando se compara a diferença dos valores percentuais médios das duas condições obtidos no intervalo que vai das três horas até as doze horas de ensaio, nota-se que essa diferença se torna ainda maior.

A partir das primeiras cinco horas ocorreu uma diminuição da velocidade de evaporação de água das amostras sujeitas a condição de exposição severa, representada pelo intervalo R1. Após 24 horas de acompanhamento (intervalo R3), praticamente não houve mais perda de massa, enquanto nas argamassas acondicionadas na condição mais amena essa diminuição só aconteceu depois do quarto dia de exposição.

Quando se compara os dois tipos de argamassas nota-se que, na condição severa, a argamassa mista, a partir de três horas e meia de exposição ( $t > 14 \text{ min}^{\frac{1}{2}}$ ), começa a apresentar valores percentuais de perda de massa maiores do que a argamassa industrializada, obtendo, no fim do ensaio, um valor máximo de 14,29% de perda de massa, enquanto que a argamassa industrializada atingiu 13,20%.

Já na condição mais amena nota-se através do gráfico de perda de massa, que os valores são muito próximos, quase não havendo distinção entre as duas argamassas. O valor máximo obtido no final do ensaio pela argamassa mista foi de 8,01% e de 7,96% para a argamassa mista nessa mesma condição. Essa mesma proximidade foi observada nos resultados da determinação da retenção de água, apresentada na Figura 4.4.

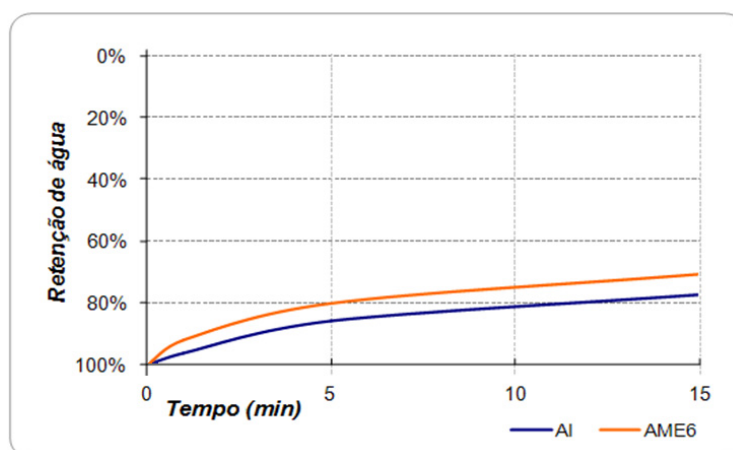


Figura 4.4 – Resultados do ensaio para determinação da retenção de água das argamassas de revestimento AME6 e AI pela ABNT NBR 13277: 2005.

#### 4.3.2 - Resultados da determinação da perda de água das argamassas por absorção e evaporação.

Para essa determinação optou-se por apresentar inicialmente as curvas obtidas na representação gráfica dos percentuais médios obtidos na avaliação do transporte de água de cada uma das camadas (próxima à superfície – sup. de 0 a 15 mm e próxima à interface – int. de 16 a 30 mm) da argamassa no estado fresco em relação à raiz quadrada do tempo em minutos, para cada uma das situações analisadas. Deve-se lembrar que esse ensaio serviu para verificar qual é o grau de interferência do tipo de preparo do substrato e da condição de exposição do revestimento.

Com o intuito de facilitar o entendimento dos resultados do ensaio, foi considerada para a caracterização da perda de água a migração em dois sentidos: um para o meio (evaporação) e o outro para o substrato poroso (absorção).

Após completar 90 min de ensaio ( $t > 9,5 \text{ min}^{1/2}$ ) não foi possível realizar a retirada de amostras dos corpos-de-prova submetidos à condição severa de exposição, devido ao enrijecimento da argamassa. Esse fato pode ser atribuído a exposição da argamassa ao calor, o que acelerou as reações de hidratação do cimento. Deve-se lembrar que o tempo de início de pega do cimento utilizado na confecção da argamassa mista foi de 2 horas e 25 minutos e o fim de pega de 3 horas e 45 minutos.

Na Figura 4.5 são apresentados os percentuais médios da perda de água, em massa, na camada interna do revestimento AME6 aplicada sobre os substratos SC, CI e CC, na condição de exposição Sev. e Lab. em função da raiz quadrada do tempo.

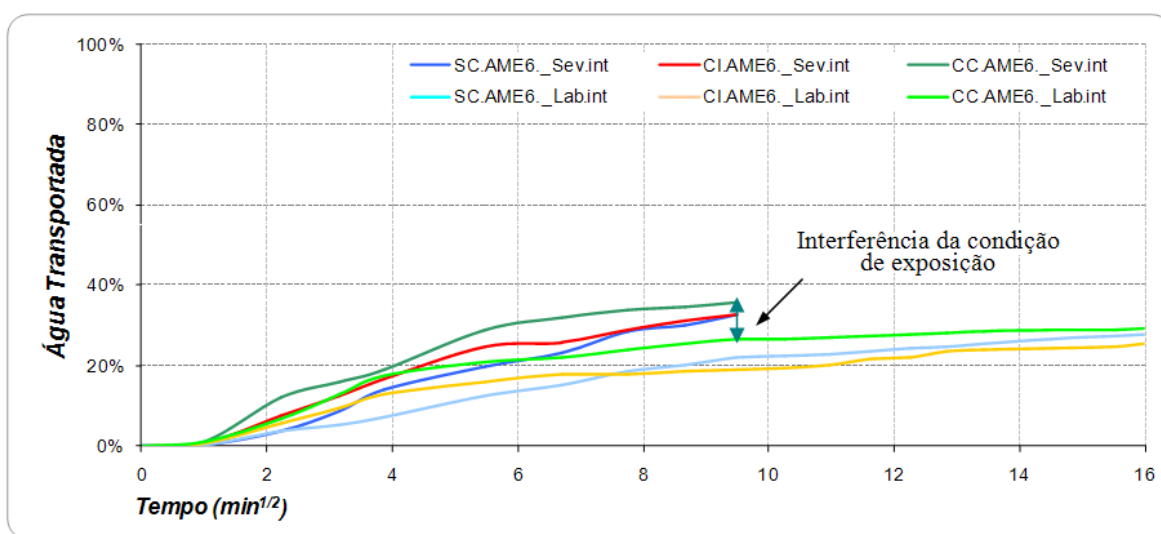


Figura 4.5 – Gráfico da perda de água na camada interna do revestimento AME6 aplicado sobre os substratos SC, CI e CC na condição de exposição Sev. e Lab.

Os perfis da perda de água traçados para as duas condições, de um modo geral, apresentam o mesmo comportamento, diferenciando-se, na maioria dos casos, apenas no percentual do volume de água transportado. Com esses resultados, no período estudado, pode-se colocar que essa camada mais interna do revestimento sofre pouca influência da condição de exposição dos corpos-de-prova. Deve-se destacar que fato similar foi observado por Leal (2003).



Procedimento semelhante é utilizado para a apresentação na Figura 4.6 dos resultados para a camada externa do revestimento AME6 aplicado sobre os substratos SC, CI e CC na condição de exposição Sev. e Lab.

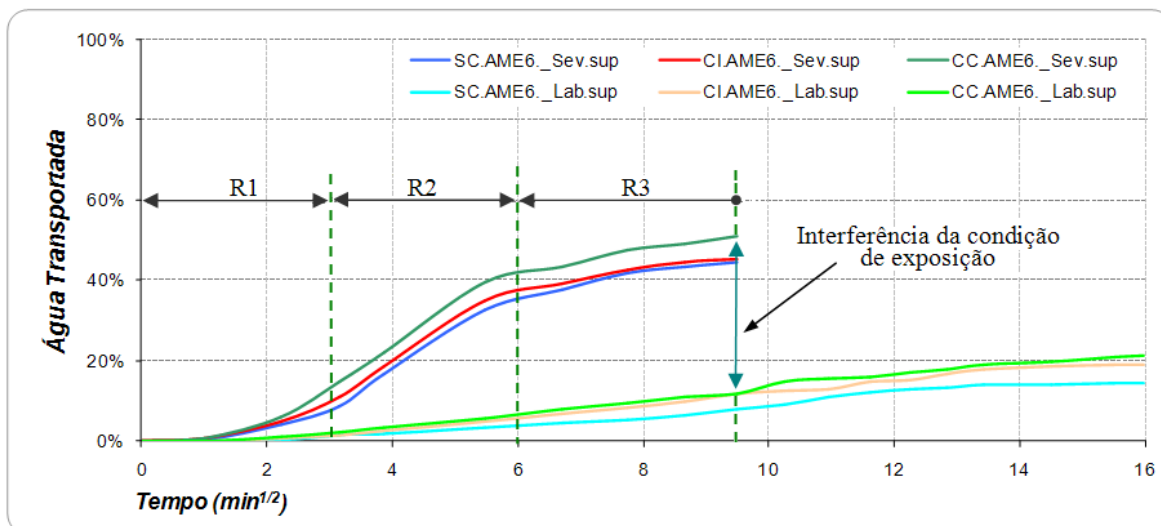


Figura 4.6 – Gráfico da perda de água na camada externa do revestimento AME6 aplicado sobre os substratos SC, CI e CC na condição de exposição Sev. e Lab.

Após os cinco primeiros minutos observa-se a formação de dois grupos distintos, o primeiro formado pelas amostras retiradas dos corpos-de-prova expostos à condição severa (com valores percentuais maiores para um mesmo valor de tempo) e o segundo composto pelas amostras dos corpos-de-prova expostos a uma condição amena. Nessa camada externa, ao contrário do que aconteceu na camada mais interna, a condição de exposição foi fundamental para determinar a velocidade de transporte de água.

Utilizando a forma de análise dos perfis adotada por Paes (2003), pode-se observar que existem três regimes (R1, R2 e R3) na perda de massa das argamassas expostas à condição severa. O regime R1 está compreendido no intervalo de tempo de 0 a 10 min; o regime R2, entre 10 e 35 min; e o regime R3, de 35 a 90 min. A inclinação mais acentuada indica uma maior perda de água. Por sua vez, a menor inclinação denota uma menor intensidade dessa perda.

O gráfico a seguir (Figura 4.7) apresenta as curvas com os percentuais médios da perda de água total (soma das perdas das duas camadas), em massa, para ambas as condições de exposição.

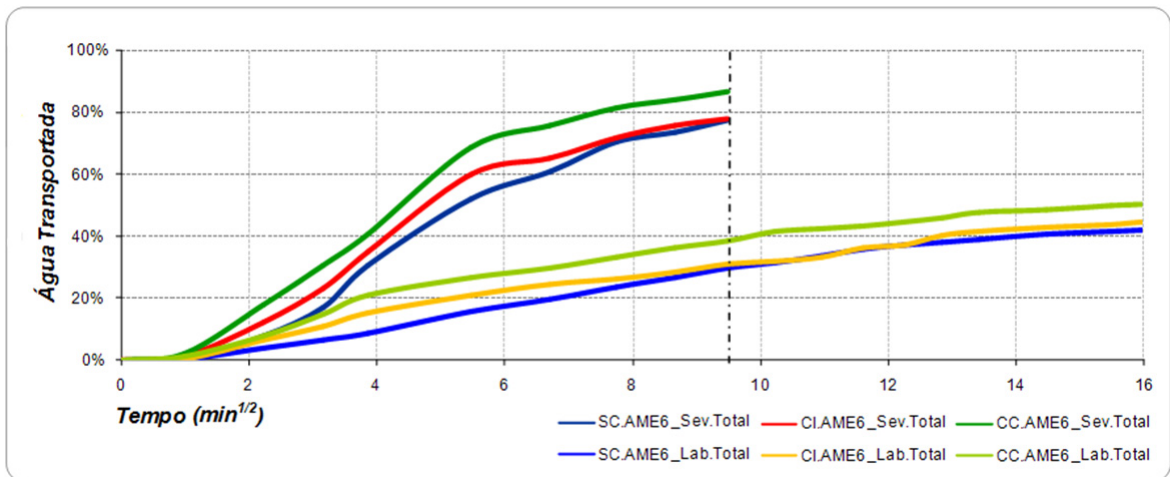


Figura 4.7 – Gráfico da perda de água total do revestimento AME6 aplicado sobre os substratos SC, CI e CC nas condições de exposição Sev. e Lab.

Nota-se que as curvas dos corpos-de-prova submetidos à condição severa de exposição apresentam maiores velocidades de perda de água no período inicial de exposição (raiz de tempo próxima a cinco), quando comparados aos submetidos à outra condição de exposição. Ao final do ensaio da condição de exposição severa verificou-se que a diferença média entre os corpos-de-prova nessa condição em relação aos da condição mais amena de exposição era superior à 50%.

Com esses resultados surge a necessidade de se comparar os valores obtidos nesse ensaio com os do ensaio de absorção de água livre pelos substratos e os do ensaio de perda de massa da argamassa por evaporação. Para isso foram gerados os gráficos com raiz de tempo em minutos de zero a 16 (valor de tempo máximo igual ao do ensaio de perda de massa no estado fresco por absorção e evaporação) - Figura 4.8 e Figura 4.9.

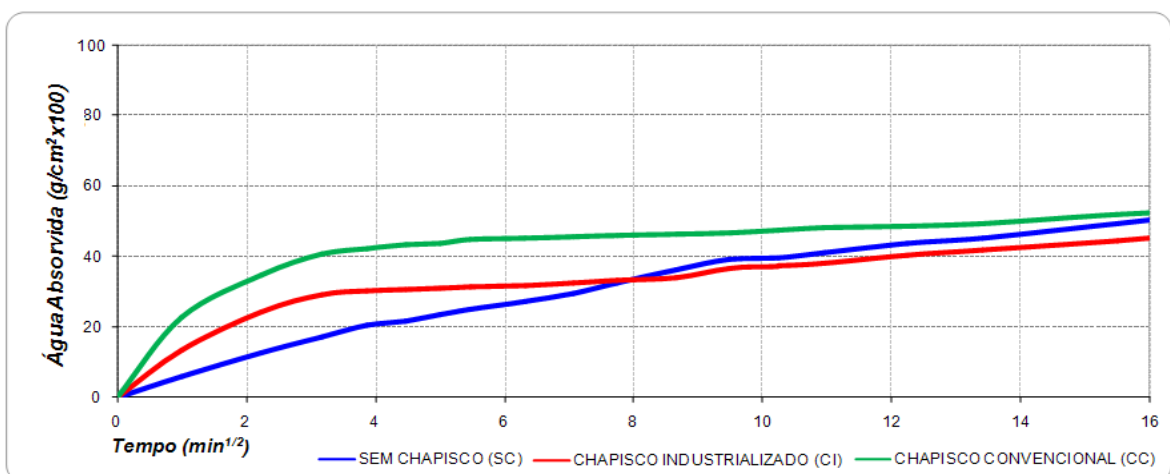


Figura 4.8 – Gráfico da massa de água livre absorvida pelos substratos SC, CI e CC com relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos igual a 16.

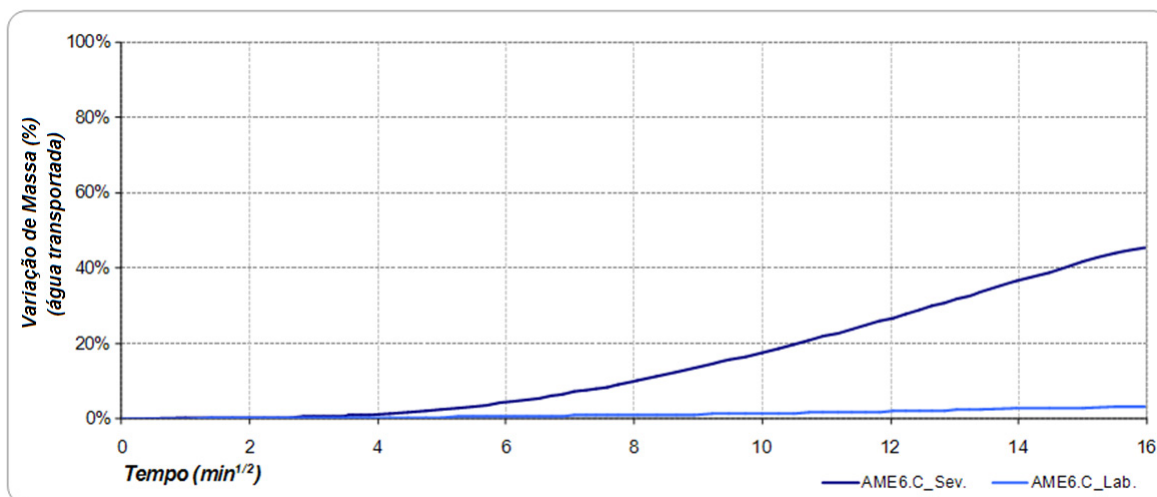


Figura 4.9 – Resultados da determinação da perda de massa da argamassa de revestimento AME6 nas condições Sev. e Lab. de exposição, em relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos igual a 16.

Observando os resultados dos gráficos da Figura 4.8 e Figura 4.9, surge a hipótese de que o comportamento das séries expostas à condição severa sofre maior influência da condição de exposição, principalmente a camada superior. Pode-se atribuir o comportamento das amostras expostas à condição amena à parcela da influência da capacidade de absorção do substrato.

#### 4.4 - RESULTADOS DA RETRAÇÃO DAS ARGAMASSAS

##### 4.4.1 - Resultados do ensaio para acompanhamento da retração livre das argamassas

Os resultados apresentados na Figura 4.10 são relativos à média das leituras obtidas em três corpos-de-prova, ao final do ensaio de determinação da variação dimensional e de massa de acordo com a ABNT NBR 15261:2005. Nessa figura podem ser observados, também, os valores de retenção de água obtidos para cada uma das argamassas avaliadas.

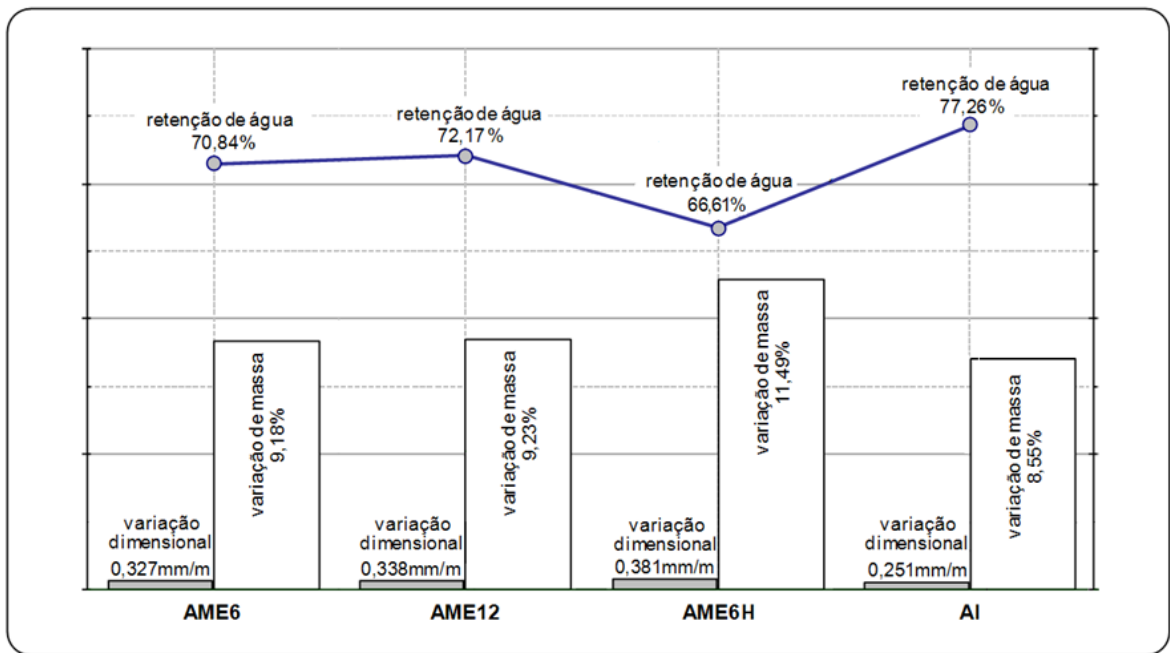


Figura 4.10 – resultados da avaliação da retenção de água, da variação dimensional e de massa.

Comparando os resultados médios para as argamassas constata-se que a retração ocorrida e a perda de massa nas amostras AME6H foram superiores às observadas nas demais amostras, obtendo a série AI a menor variação dimensional e de massa. E esse fato pode ser relacionado com a capacidade de retenção de água das argamassas avaliadas.

Quando a comparação é feita entre as argamassas mistas E6 e E12, que se diferem basicamente pelos teores de aglomerantes na mistura, nota-se que os valores médios obtidos nas três avaliações não apresentam diferenças significativas. Dessa forma nota-se que a troca de cimento pela cal representa um acréscimo de menos de 2% na retenção total de água das misturas.

Os resultados apresentados na Figura 4.11 e na Figura 4.12 são relativos à média das leituras obtidas em três corpos-de-prova, submetidos ao ensaio de determinação da variação dimensional e de massa ao longo de 28 dias.

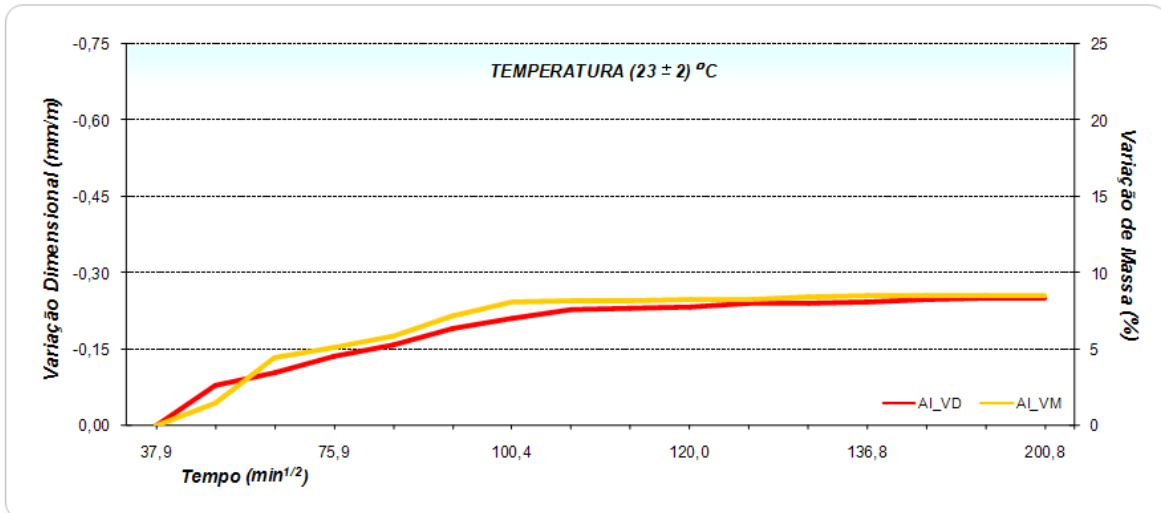


Figura 4.11 – resultados da variação dimensional livre e da variação de massa da argamassa industrializada em relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos.

Nota-se que os valores de variação dimensional linear da argamassa industrializada praticamente acompanham a variação de massa das amostras. A velocidade de retração a partir do primeiro dia após a retirada do molde, ou seja, 48 horas após a moldagem, sofre uma diminuição. Esse fato, nesse ensaio, está associado ao teor de umidade interno do corpo-de-prova, que vai diminuindo gradativamente com o passar do tempo até praticamente se estabilizar por volta do sétimo dia.

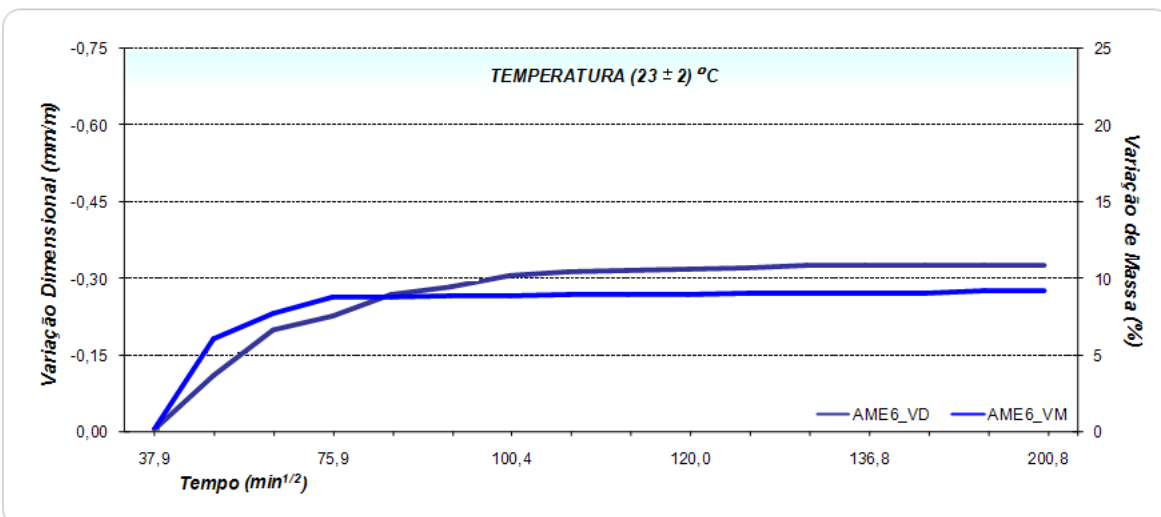


Figura 4.12 – resultados da variação dimensional livre (VD) e da variação de massa (VM) da argamassa mista em relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos.

Fazendo a mesma analogia realizada para a variável anterior percebe-se que os resultados médios de retração acompanham a perda de massa. Mas, nesse caso, existe

uma pequena diferença entre a velocidade de retração e a velocidade de perda de massa ocorrida nas amostras AME6.

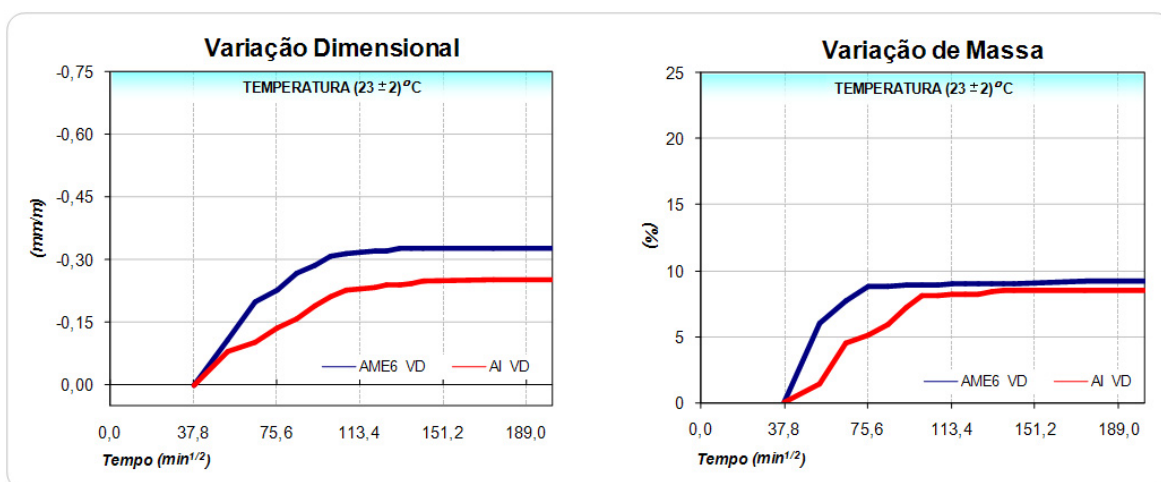


Figura 4.13 – Variação dimensional livre e variação de massa das amostras AI e AME6 em relação à raiz quadrada do tempo de exposição em minutos.

O valor médio da retração obtida aos 28 dias para AI foi de -0,251 mm/m enquanto que os corpos-de-prova da série AME6 obtiveram um valor médio de -0,327 mm/m, ou seja, a retração ocorrida no final do ensaio na série da argamassa mista foi 30% maior do que a da argamassa industrializada. Já para o percentual médio da variação de massa após 28 dias a diferença foi de aproximadamente 7%. Com esses resultados, fica mais clara a suposição de que a maior parte da movimentação linear acompanha está associada à variação de massa ocorrida pela perda de água da argamassa.

#### 4.4.2 - Resultados do acompanhamento da movimentação do revestimento devido à perda de água da argamassa

Inicialmente, optou-se por apresentar na Figura 4.14 as variáveis desse estudo que possivelmente exercem maiores influências na movimentação do revestimento.

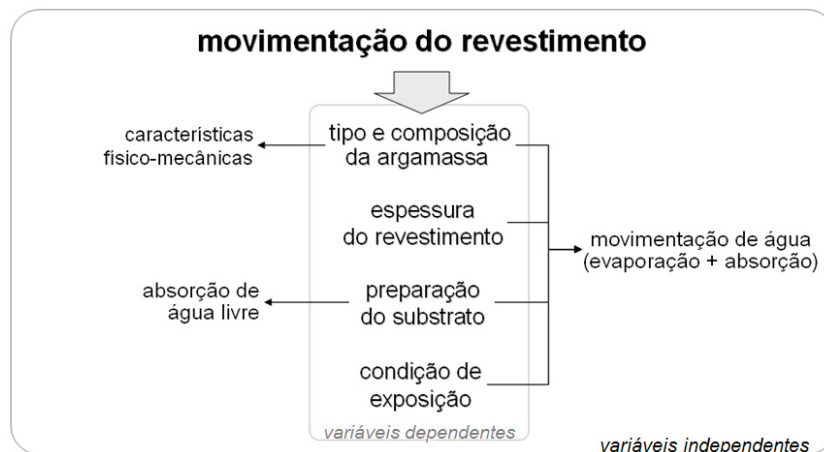


Figura 4.14 – Variáveis intervenientes na movimentação do revestimento.

Cabe ressaltar que a condição de exposição faz parte da metodologia do ensaio, mas de certa forma é tratada como variável devido à exposição do revestimento a duas situações distintas.

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios de acompanhamento da movimentação linear da superfície e da movimentação linear interna do revestimento à base de argamassa.

#### 4.4.3 - Resultados do ensaio de acompanhamento da movimentação superficial do revestimento

Os resultados desse ensaio são apresentados em forma de gráfico para cada variável do ensaio de acompanhamento da movimentação superficial do revestimento, e essa escolha foi feita com intuito de facilitar a interpretação dos resultados.

As figuras apresentadas a seguir trazem gráficos com os resultados da movimentação superficial em relação ao tempo medido em dias, obtido em cada um dos oito pontos de acompanhamento com relação ao centro dos corpos-de-prova das séries revestidas com argamassa industrializada submetidas à condição severa de exposição (7 dias expostos à Condição Sev. e mais 21 dias na Condição Lab.). Essa comparação inicial foi realizada com a finalidade de se verificar a interferência do tipo de substrato na movimentação superficial do revestimento.

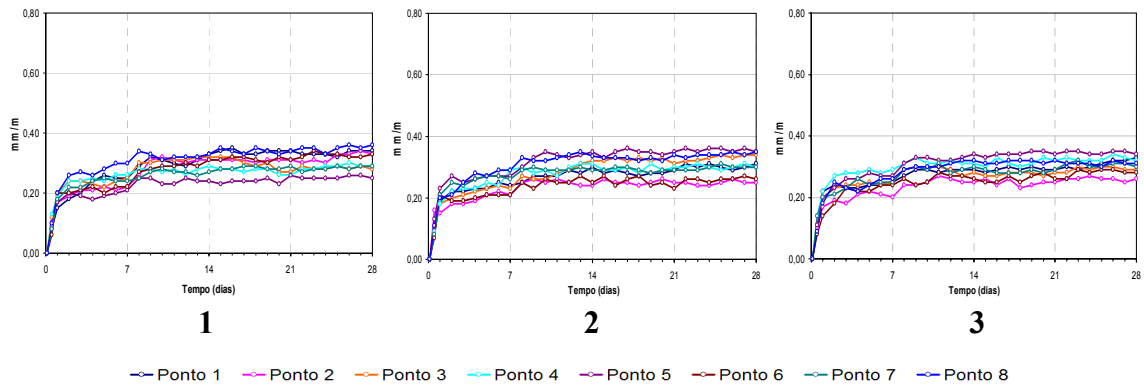


Figura 4.15 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas SC.AI.30 - 1, 2 e 3.

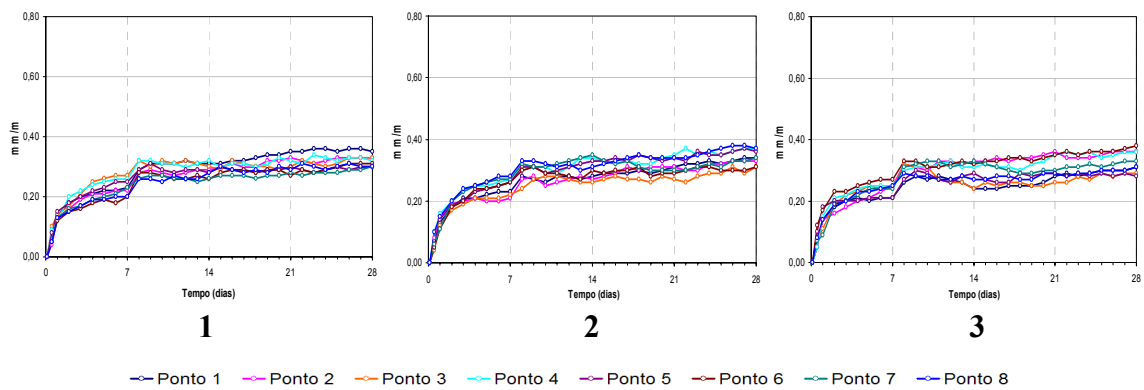


Figura 4.16 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CI.AI.30 - 1, 2 e 3.

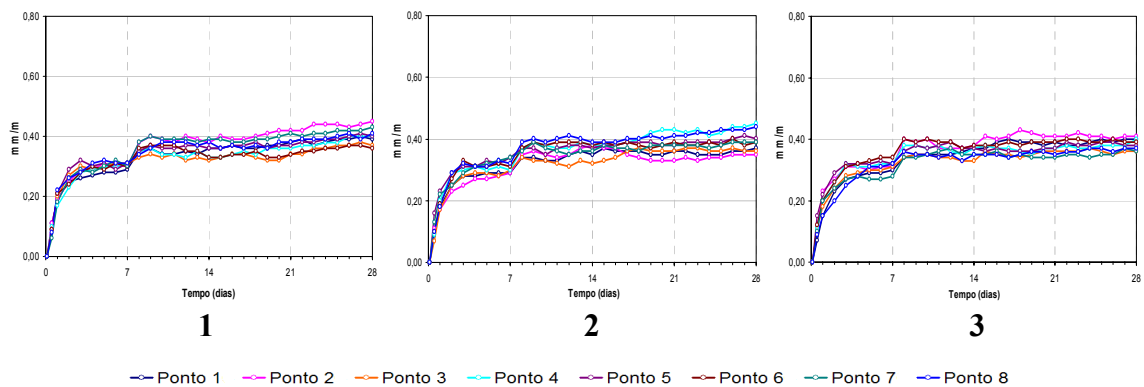


Figura 4.17 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AI.30 - 1, 2 e 3.

Após a apresentação dos resultados em forma de gráfico e a constatação da similaridade do comportamento mostrado, decidiu-se pela apresentação da média obtida pela soma das variações lineares dos pontos diametralmente opostos em relação ao centro da placa (identificados na Figura 4.18), C-1 com C-5 (passando a ser 1-5);



C-2 com C-6 (passando a ser 2-6); C-3 com C-7 (passando a ser 3-7); e C-4 com C-8 (passando a ser 4-8), das três amostras.

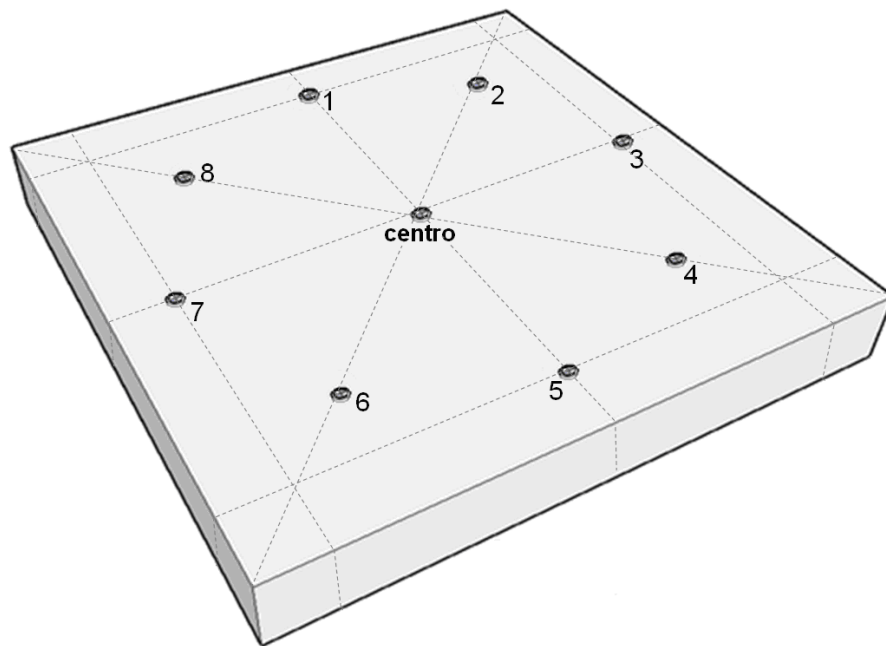


Figura 4.18 – Ilustração do corpo-de-prova com a identificação dos pontos para o acompanhamento da movimentação superficial do revestimento.

As próximas figuras apresentam os gráficos com esses resultados, identificando o período de exposição em cada condição. Cabe colocar que no Apêndice se encontram os gráficos com os valores obtidos nos oitos pontos de acompanhamento em relação ao ponto central, e uma tabela com a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação desses valores, para cada uma das amostras deste ensaio.

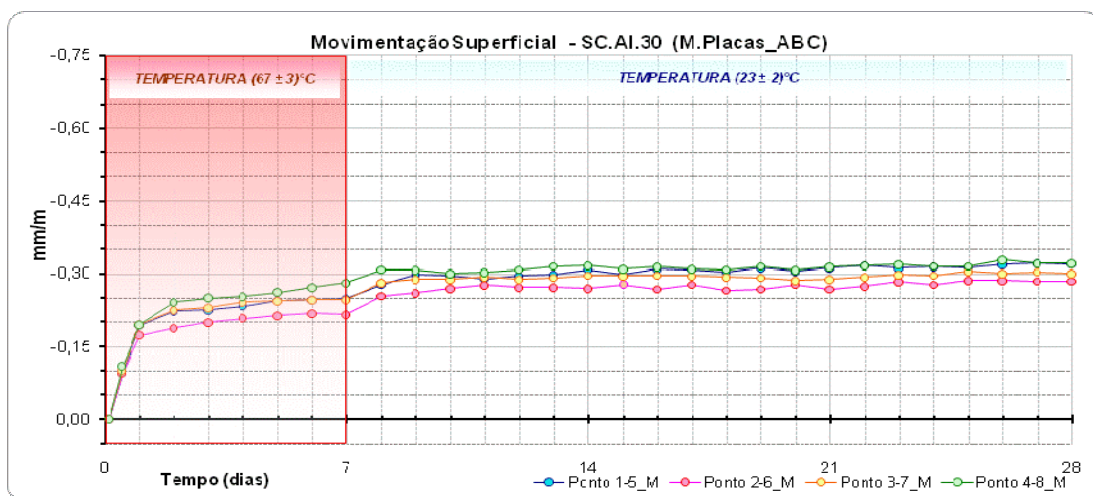


Figura 4.19 – Gráfico da movimentação superficial média nas placas SC.AI.30 - 1, 2 e 3.

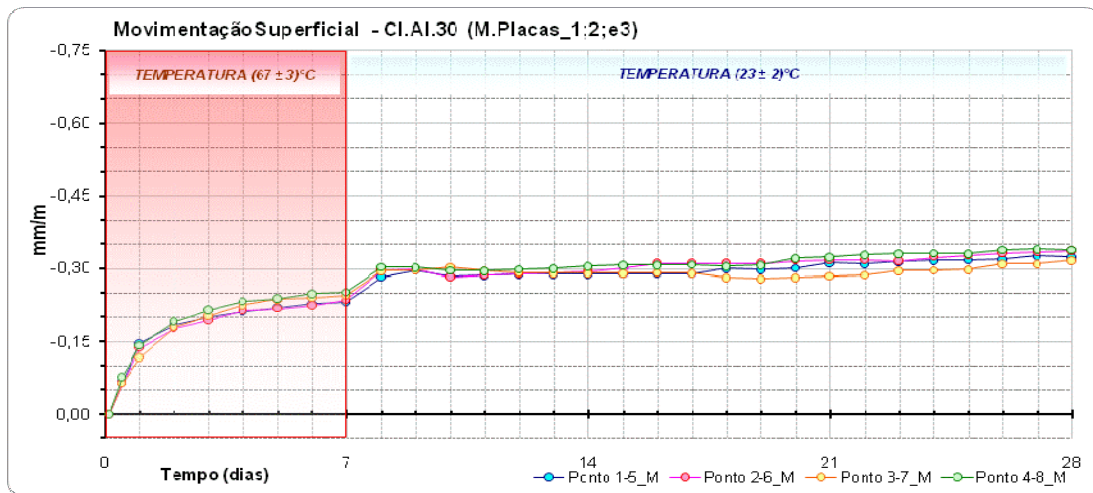


Figura 4.20 – Gráfico da movimentação superficial média nas placas CI.AI.30 - 1, 2 e 3.

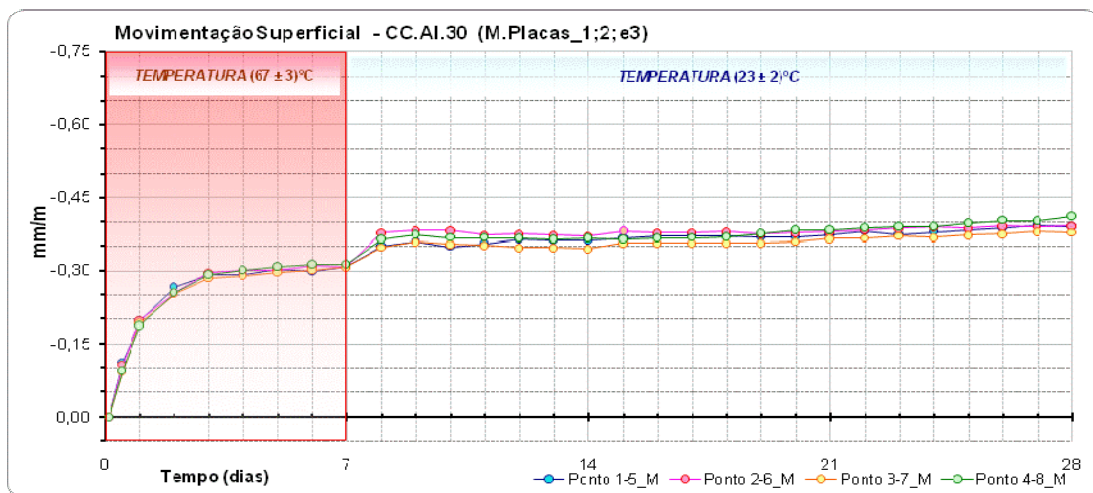


Figura 4.21 – Gráfico da movimentação superficial média nas placas CC.AI.30 - 1, 2 e 3.

A decisão pela apresentação dos resultados médios, ao invés dos individuais, mostrou que os perfis de movimentação média nos quatro sentidos foram bastante análogos, em decorrência do comportamento extremamente similar nessas direções. Cabe salientar que o mesmo procedimento de verificação realizado para essas séries foi feito para as demais amostras, constatando a existência de similaridade dos perfis das curvas de movimentação em decorrência do comportamento obtido para cada variável.

A partir dessas verificações pode-se chegar ao modelo utilizado para apresentar o resultado médio das três amostras ensaiadas por variável. Por fim, resolveu-se adotar movimentação linear superficial média em função da raiz quadrada do tempo, e deve-se salientar que esse procedimento é utilizado para representação gráfica de fenômenos

que envolvem movimentação de água. Conforme foi constatado no ensaio de acompanhamento da retração livre e da perda de massa, grande parte da mudança dimensional da argamassa pode ser associada à movimentação de água, e por esse motivo, a abscissa nos gráficos desse ensaio representa a raiz quadrada do tempo em horas.

Deixa-se claro que foi feita a opção por desconsiderar a parcela da retração atribuída às reações de hidratação dos aglomerantes na análise dos resultados desse ensaio, com a finalidade de simplificar para facilitar o entendimento do comportamento de cada variável envolvida nesse estudo. Esse fato pode ser justificado pela afirmação de que a movimentação causada por esse tipo de retração torna-se desprezível quando comparada com a magnitude da retração causada pela secagem do revestimento. Além do que, o período de acompanhamento da retração teve início após a colagem dos pontos para acompanhamento da movimentação, três horas depois da aplicação do revestimento ao substrato, considerou-se a primeira leitura como o zero, mas se sabe que antes desse período ocorreram movimentações no revestimento.

Com os resultados desse ensaio foi possível realizar comparações entre as variáveis das séries ensaiadas como mostra o esquema a seguir:

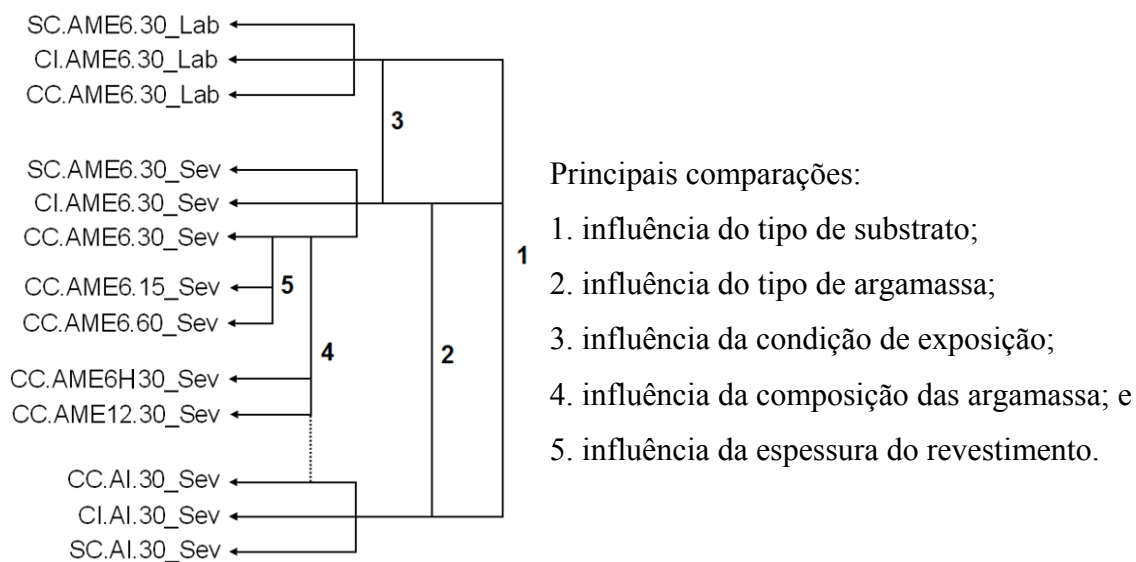


Figura 4.22 – Esquema com as possíveis comparações entre as séries ensaiadas.

#### 4.4.3.1 - Verificação da influência do tipo de preparação do substrato com o uso de argamassa industrializada como revestimento

Inicia-se esta verificação a partir dos resultados apresentados na Figura 4.23, que mostra o comparativo feito com a média da movimentação superficial captada nos corpos-de-prova revestidos com argamassa industrializada (AI), tendo como variável a preparação do substrato.

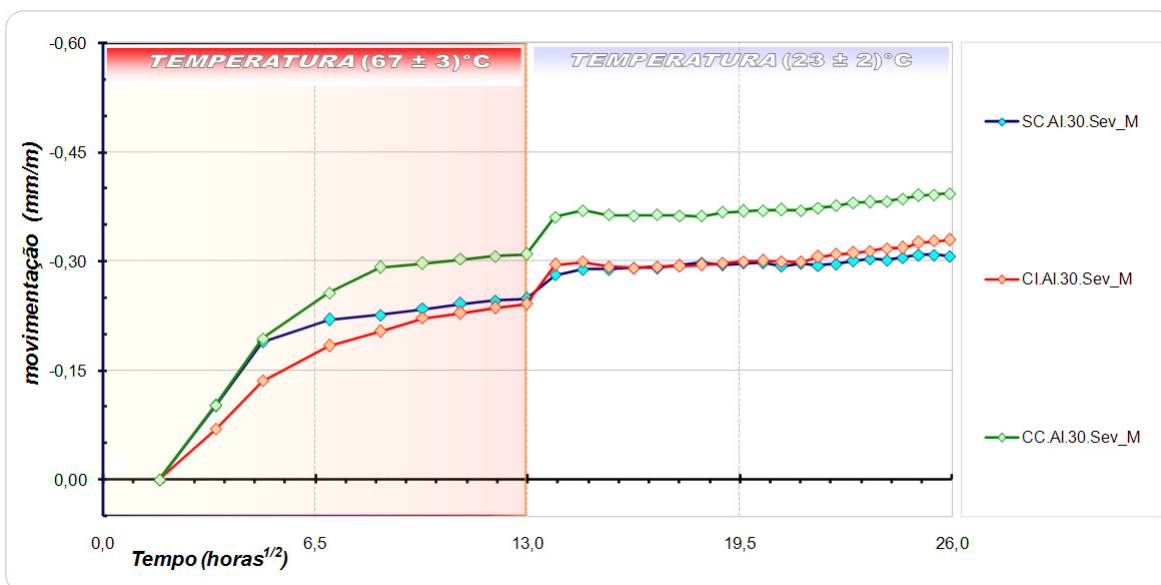


Figura 4.23 – Comparativo entre a movimentação média das placas com argamassa AI.30 com diferentes tipos de substratos.

O comportamento inicial (3 a 12 horas) da argamassa aplicada sobre o substrato revestido com chapisco industrializado ficou próximo aos das séries de argamassas aplicadas aos substratos sem chapisco e com chapisco convencional, que foi praticamente idêntico, levantando a hipótese de que influência do tipo de substrato nesse primeiro momento não exerce grande influência na movimentação superficial dessa argamassa.

No período de exposição na condição mais amena (Lab) a série SC.AI.30 teve um comportamento semelhante a da série CI.AI.30, obtendo ao final do acompanhamento uma movimentação média acumulada de 0,307 mm/m, enquanto a CC.AI.30 obteve 0,393 mm/m.

#### 4.4.3.2 - Verificação da influência do tipo de preparação do substrato com o uso de argamassa mista como revestimento

No gráfico seguinte (Figura 4.24) a avaliação entre os diferentes tipos de substratos continua, mas agora com o uso de argamassa mista (AME6).

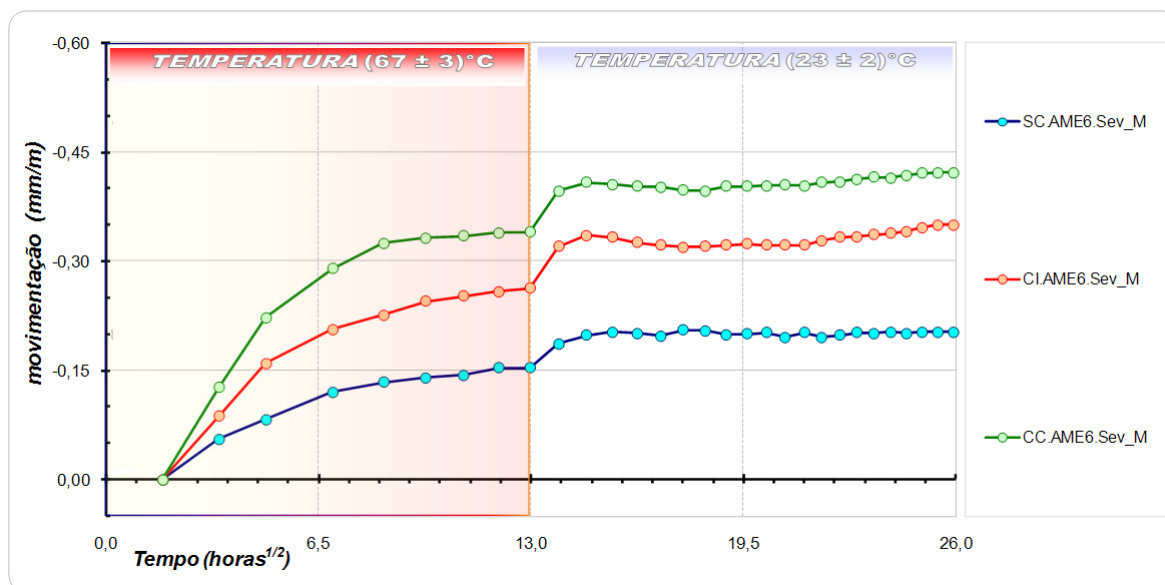


Figura 4.24 – Comparativo entre a movimentação média das placas com argamassa AME6.30 com diferentes tipos de substratos.

Pode-se dizer que os perfis, para todas as séries desse comparativo, possuem comportamentos parecidos. Observa-se também, nesse gráfico, que já no primeiro momento ocorrem diferenças nas amplitudes das movimentações superficiais dos revestimentos e essas diferenças se mantêm até o final do acompanhamento, com as menores variações ocorrendo nas argamassas aplicadas sobre a base sem chapisco, enquanto as maiores na série revestida com chapisco convencional. Dessa forma, pode-se dizer que o substrato exerce interferência na movimentação superficial da argamassa mista dessa comparação. A obtenção dos perfis da absorção de água livre pelo substrato empregados nessa pesquisa ajudam a confirmar essa hipótese.

Quando a comparação é feita entre os tipos de argamassa nota-se que os resultados da argamassa mista aplicada sobre os substratos CI e CC apresentaram valores maiores quando comparados com as séries revestidas com AI sujeitas as mesmas condições. O valor final médio do CI.AI ficou abaixo 6% do CI.AME6 enquanto o CC.AI 7% a

menos do que o CC.AME6. Apenas o revestimento AME6 aplicado diretamente sobre o concreto apresentou valores menores do que os obtidos pela série AI.

Nessa forma de comparação, pode-se dizer, ainda, que as séries com chapisco mantiveram uma mesma tendência, a única modificação ficou por conta da série SC.AME6 apresentou, no final do ensaio, com uma diferença ainda maior em relação a série CC.AME6 (aproximadamente 50%), ficando o revestimento aplicado sobre a o CC com a maior velocidade de retração e os maiores valores médios.

Quando se faz outra checagem entre o desenvolvimento das curvas apresentadas pelas séries com diferentes tipos de chapisco (CI e CC) nota-se que as amostras com CI apresentaram, para os dois tipos de argamass no primeiro período de exposição, os menores valores de retração, enquanto as com CC tiveram as maiores deformações.

Relata-se que durante o ensaio, nas amostras SC (AI e AME6), detectou-se o aparecimento de fissuras e descolamento do revestimento em todos os corpos-de-prova dessas séries, o que pode justificar o comportamento um pouco diferente ao dos outros dois tipos de substrato avaliados, uma vez que nas séries CC e CI não foram encontradas fissuras ou descolamento durante todo o período de acompanhamento.

Após o relato das observações feitas com a variação do tratamento superficial da base e da mudança do tipo de argamassa, surgem indícios que as diferenças de comportamento observadas estão ligadas a velocidade com que as argamassas perdem água. De outra forma pode-se dizer que essa diferença pode estar na capacidade das argamassas em reter água, como visto na comparação mostrada anteriormente no ensaio de retração livre.

A partir da análise das curvas obtidas para os diferentes tipos de substratos (da condição de exposição severa) percebe-se que existem dois períodos com velocidades de retração maiores (maior inclinação da curva): o primeiro ocorre durante as primeiras 24 horas de ensaio, ou seja, até raiz de tempo em horas igual 4,9; e o segundo, que tem início após a mudança de condição de exposição, ao final dos primeiros sete dias e tem duração de aproximadamente 24 horas, ou seja, início em raiz de tempo em horas igual a 13, e fim em 13,9.

Com a constatação da ocorrência de um trecho inicial das curvas de retração com uma inclinação maior foi feito um gráfico (Figura 4.25) linearizando a movimentação, com todas as séries desse ensaio incluindo as expostas na condição mais amena de exposição (Lab.), do período de tempo que vai de raiz de tempo em horas igual 1,73 (3 horas) a 4,90 (24 horas). Resolveu-se chamar a inclinação das retas de índice de retração inicial.

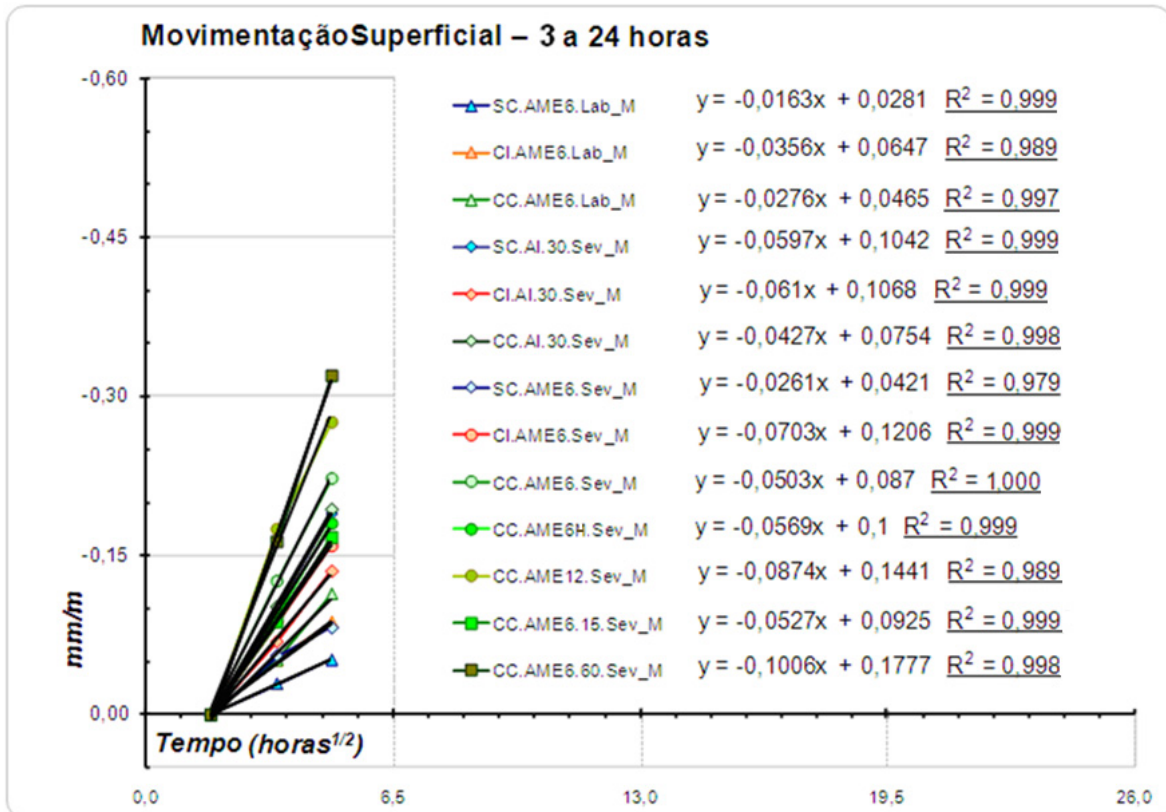


Figura 4.25 – Comparativo da velocidade da movimentação superficial média, de todas as séries estudadas, nas primeiras 24 horas de acompanhamento.

A análise desse comparativo serve de base para a confirmação de que a velocidade inicial da retração, aqui associada à perda de água, exerce influência no aparecimento de fissuras ou descolamento do revestimento, além de interferir na retração média acumulada no final do período de ensaio.



#### 4.4.3.3 - Verificação da influência do tipo e da composição das argamassas de revestimento

O passo seguinte foi avaliar a influencia do tipo e da composição das argamassas de revestimento, para isso foram reunidas todas as argamassas com 30 mm de espessura, submetidas à condição de exposição severa, que utilizaram chapisco convencional como preparo de base em um só gráfico apresentado na Figura 4.26.

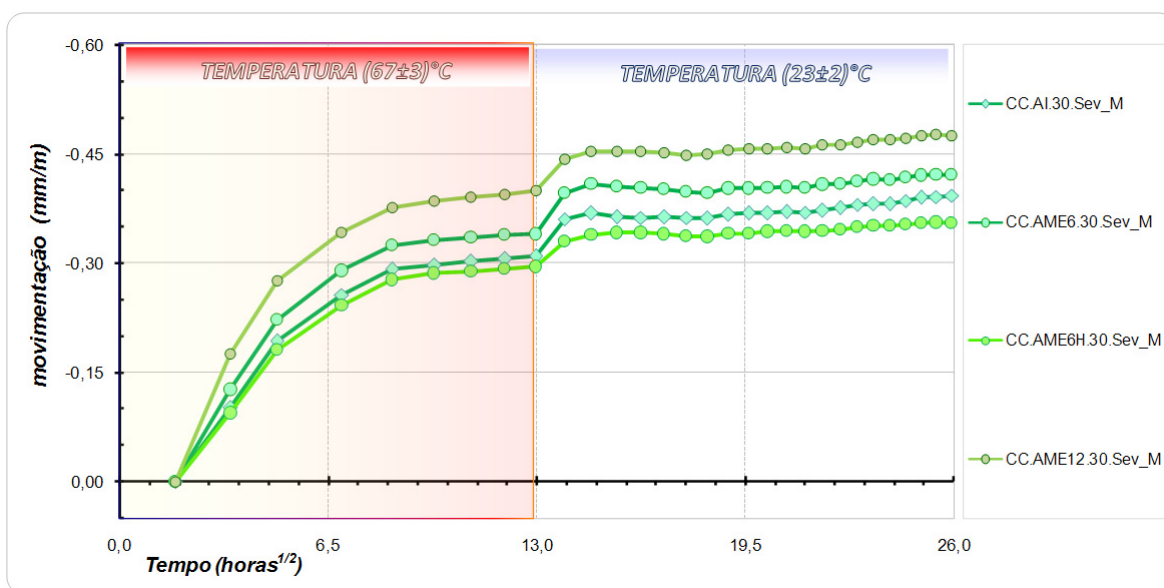


Figura 4.26 – Comparativo da movimentação superficial média entre os corpos-de-prova com espessura de 30 mm e o mesmo tipo de preparação de base (CC), submetidos a condição Sev.

A aceleração da retração observada no período inicial desse acompanhamento refletiu nos valores médios acumulados das séries comparadas. Tendo a maior inclinação e o maior valor médio final acumulado (-0,475 mm/m) a série CC.AME12.30. Para as séries AI e AM6H, as inclinações de suas curvas se apresentaram muito próximas. Não se pôde afirmar que não há interferência significativa da capacidade de retenção de água nesse período para essas amostras, pois todos os corpos-de-prova da série AM6H apresentaram fissuras na superfície, levando a acreditar que a elevação do teor de água na mistura ocasionou o surgimento dessas fissuras observadas, o que pode ter causado uma alteração nos resultados, impossibilitando algumas comparações.

Com a mudança de E6 para E12, praticamente ocorre à troca do tipo de aglomerante que compõe a argamassa (o cimento passa de 14,4% em volume para 7,53% e a cal



passa de 5,84% para 12,73%, podendo dizer que o volume da areia e da água permanecem constantes) ocorrem mudanças nos valores obtidos, com a velocidade da movimentação média superficial se elevando com o aumento de cal na composição. Com a elevação do teor de cal, como pode ser visto nos resultados do ensaio de retenção de água, inicialmente esperava-se, mais uma vez, que o efeito fosse inverso nesse ensaio (com maior capacidade de retenção de água ocorreria menor deformação) Mas, por outro lado, como mostra a Figura 4.27, o aumento da relação entre a cal e o cimento ocorre um incremento na capacidade de deformação (demonstrado por um valor menor do módulo de deformação quando comparado com encontrado para a argamassa mista E6). Outro possível ponto que interfere nesse resultado é a maior finura da cal, que ocasiona um melhor empacotamento através do preenchimento dos espaços vazios da mistura. Deve-se lembra que fato semelhante foi observado por Bastos (2001).

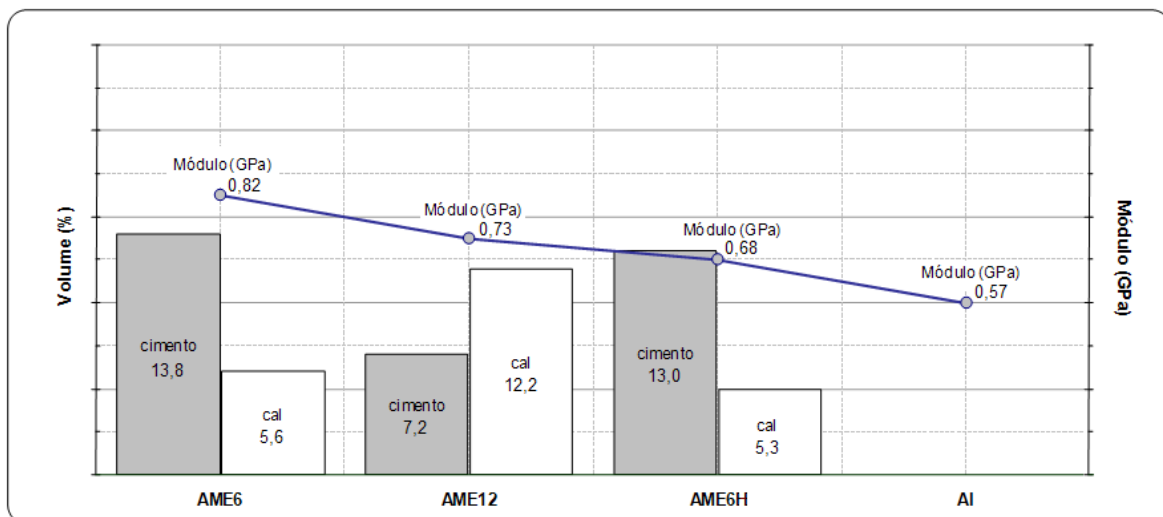


Figura 4.27 – Comparativo do teor de aglomerantes das argamassas mistas, em volume percentual, com o módulo de deformação das argamassa.

Então, para essas séries CC.30, pode-se dizer que, quando a variação é apenas do tipo de argamassa ou de sua composição, os valores variam, principalmente, devido à sua capacidade de retenção de água e a sua capacidade de deformação.

#### 4.4.3.4 - Verificação da influência da espessura de revestimento

A comparação das séries através da variação da espessura da camada de revestimento pode ser acompanhada através do gráfico da Figura 4.28.

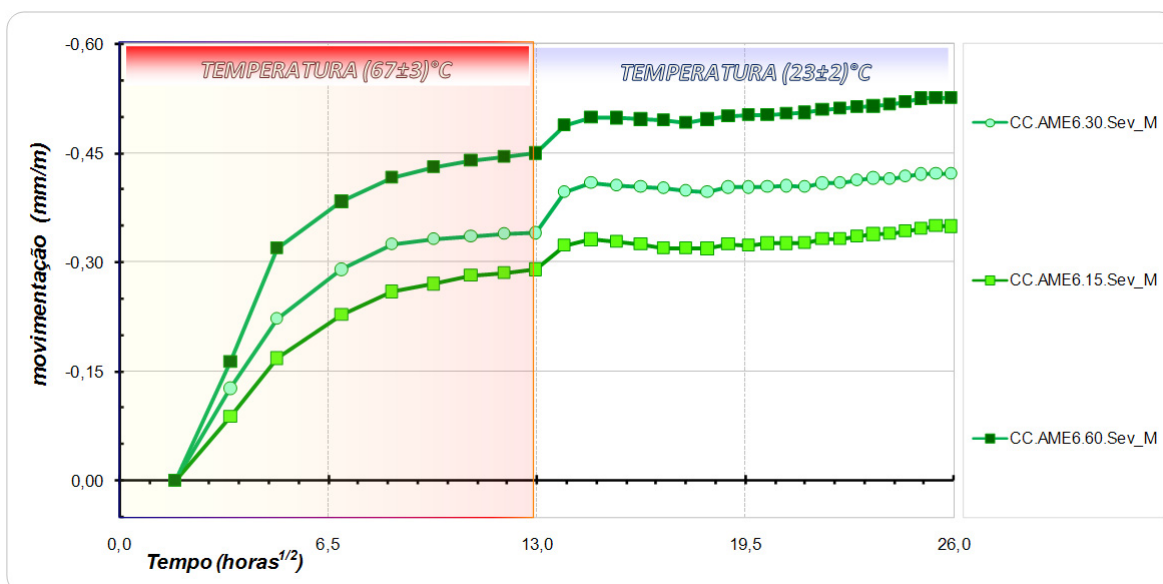


Figura 4.28 – Comparativo da movimentação superficial média entre os corpos-de-prova com variação da espessura da camada de revestimento.

O valor final médio da série CC.AME6.15 foi de -0,348, o da série CC.AME6.30 foi de -0,421 (21% maior do que o valor da série CC.AME6.15), e o da série CC.AME6.60 foi de -0,526 (51% maior do que o valor da série CC.AME6.15). Outro fato observado foi que a velocidade da movimentação foi maior no revestimento de maior espessura (velocidade duas vezes maior do que a alcançada pelo de 30 mm) seguido pelo de menor espessura (apenas 5% maior do que o de espessura igual a 30 mm) e por último veio o revestimento com 30 mm de argamassa.

Observou-se que a retração cresceu conforme foi aumentada a espessura do revestimento, e dessa forma imagina-se que o revestimento com a menor espessura perdeu a maior parte de sua água, por evaporação e sucção pelo substrato, durante as primeiras horas, ocasionando um enrijecimento precoce quando comparado com as demais séries. Para o revestimento de maior espessura constatou-se que, por possuir um maior volume de água por área de contato com o substrato ou de superfície, ele teve a maior retração.

Corroborando as constatações dessa comparação, os resultados dos perfis de movimentação de água da argamassa fresca para o substrato poroso encontrados por Paes (2004) mostram diferenças significativas no comportamento dos revestimentos a partir da espessura empregada. Para os revestimentos de menor espessura, verificou-se que a argamassa fresca perde água em maior quantidade e velocidade do que no de maior, independentemente do regime avaliado, confirmado pelo comportamento observado na pesquisa de Ouzit (1990). Nesta, esse autor cita que além da espessura, a sucção do substrato é fator determinante na perda de água da argamassa.

Com relação à região da interface, Paes (2004) chama a atenção para o fato de que mesmo neste local o revestimento de 50 mm perdeu menos água para o substrato do que o revestimento de 30 mm, levantando a hipótese de que a espessura de 50 mm pode, naturalmente, ter atuado como uma barreira à movimentação de água da argamassa. A maior quantidade de material (argamassa) aplicado sobre o substrato levou a um elevado volume de água restringida a ser transportada. Neste caso, aumentou-se o volume de água, no entanto, o poder de sucção do substrato continua sendo o mesmo que age em um revestimento de menor espessura (atuação mais intensa).

Durante a avaliação pôde-se constatar que a variação na espessura da camada de revestimento não causou nesse ensaio fissuras ou descolamentos nas amostras avaliadas, mesmo apresentando as maiores movimentações do estudo (caso do AME6.60).

#### 4.4.3.5 - Verificação da influência do incremento da retirada de água por evaporação

Para conhecer a interferência da exposição severa na movimentação superficial do revestimento foram escolhidas as séries AME6.30. Durante essa verificação, as amostras submetidas à Condição Lab de exposição foram mantidas em ambiente de laboratório durante 28 dias. Os gráficos seguintes apresentam os resultados da movimentação superficial, em relação ao tempo medido em dias, obtido em cada um

dos oito pontos de acompanhamento com relação ao centro dos corpos-de-prova dessas séries.

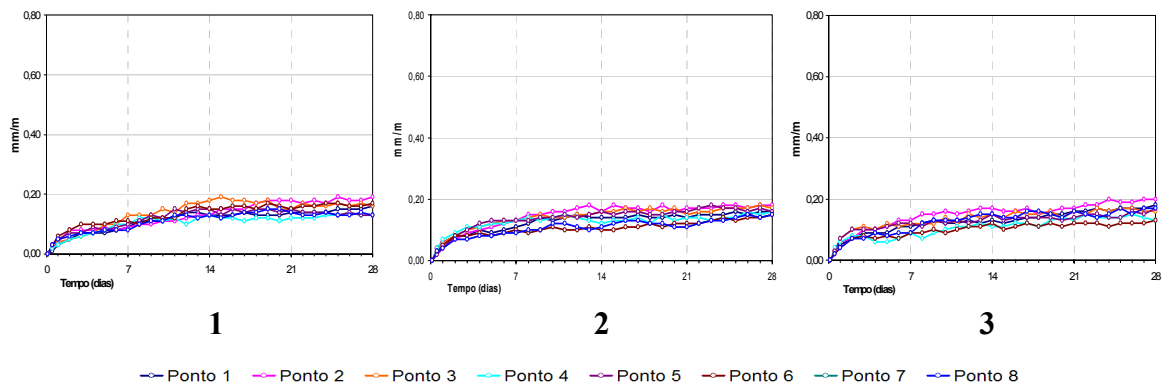


Figura 4.29 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas SC.AME6.30Lab - 1, 2 e 3.

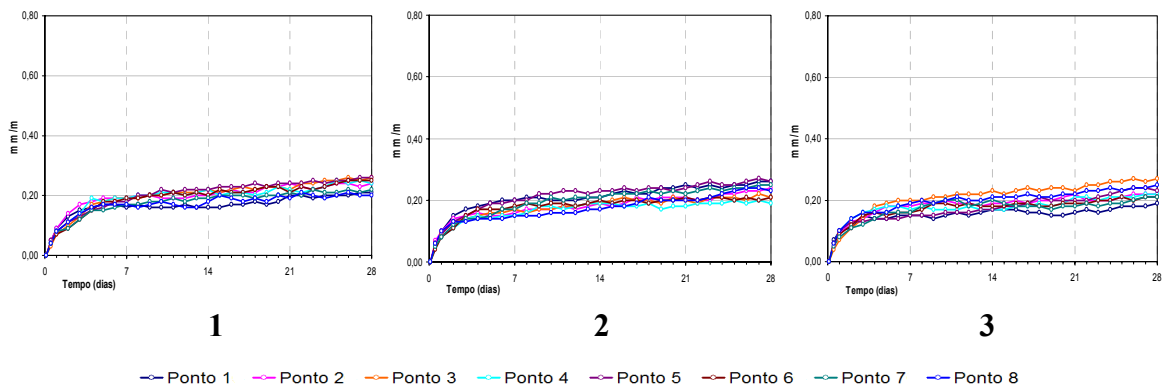


Figura 4.30 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CI.AME6.30Lab - 1, 2 e 3.

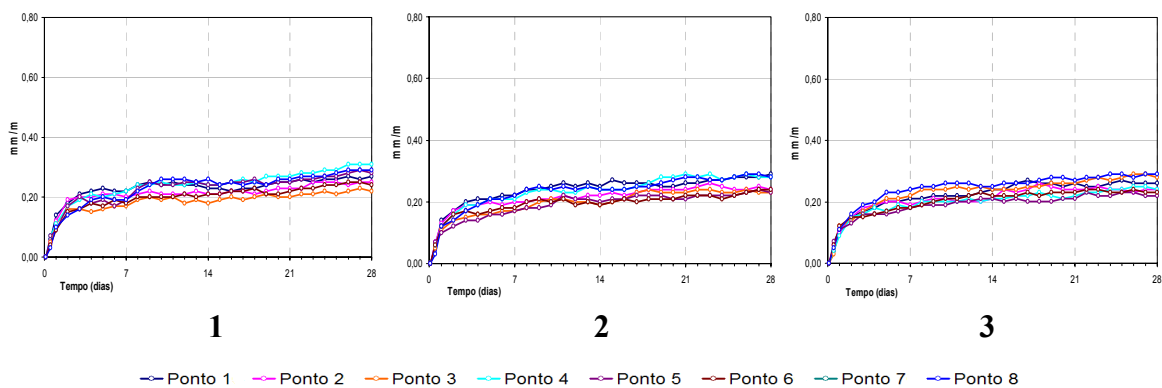


Figura 4.31 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AME6.30Lab - 1, 2 e 3.

Após a verificação da similaridade do comportamento mostrado pelas curvas de movimentação, decidiu-se, também para essa condição de exposição, pela apresentação da média das variações lineares obtida para cada variável em função da raiz quadrada do tempo, facilitando a comparação com resultados do outro tipo de exposição.

Desse modo, para avaliar a diferença causada pela condição de exposição inicial no revestimento, foi traçado um gráfico (Figura 4.32) com os valores das séries AME6.30 para as mesmas variações dos tipos de preparos de base.

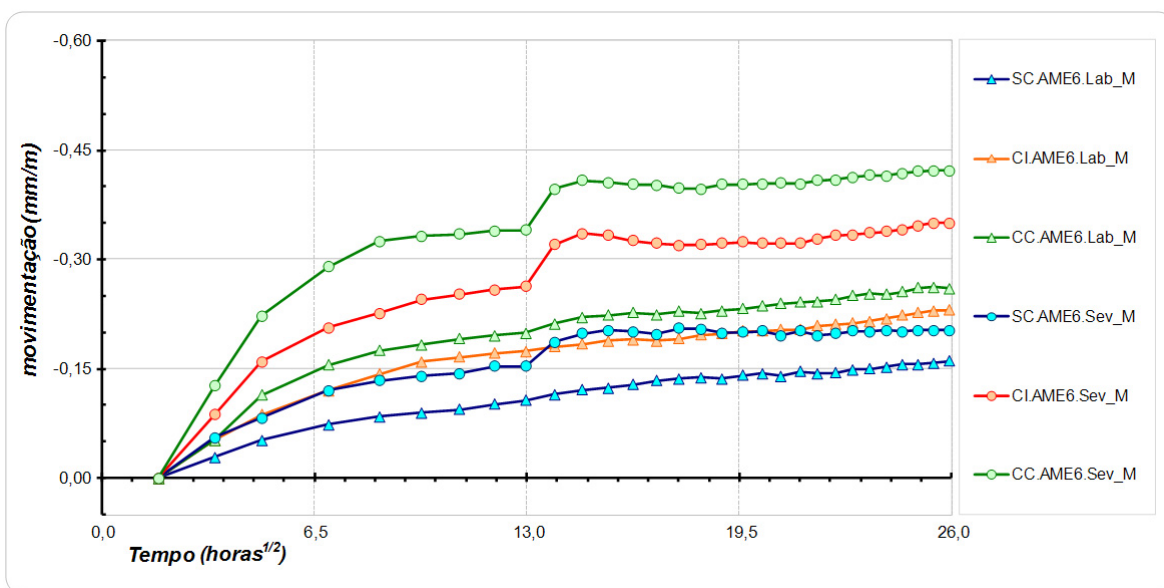


Figura 4.32 – Comparativo da movimentação superficial média entre os corpos-de-prova submetidos a condições de exposição Lab. e Sev., que utilizaram AME6.30 com os três tipos de preparação de base (SC; CI; e CC).

Nota-se que a mudança da condição de exposição inicial do revestimento apresenta diferenças, quando a comparação é feita para as mesmas variáveis, que se tornam evidentes após as primeiras 12 horas (raiz de tempo em horas igual a 3,46). Os valores médios máximos obtidos com a medição da movimentação superficial dos revestimentos, em todas as séries mostradas nesse gráfico, submetidas à condição mais amena foram menores do que os valores alcançados no último dia do período de exposição severa, ou seja, aos valores médios obtidos no sétimo dia de exposição na condição severa.

Em todas as séries expostas a condição severa de exposição, percebeu-se uma pequena diminuição nos valores de retração após os primeiros dias de exposição à condição

amena. Esse fato foi associado a um ganho de massa, possivelmente advindo do aumento da umidade ocasionado pela mudança de ambiente, e esse fato foi comprovado através do ensaio de uma série de corpos-de-prova utilizados para o acompanhamento da retração livre submetido às mesmas condições das amostras desse ensaio, os quais apresentaram, também, esse ganho de massa. Outro ponto observado na comparação entre as amostras foi que a elevação da movimentação superficial após o sétimo dia acontece devido a mudança de condição de exposição, pois não aparece nas amostras expostas na condição de mais amena (Lab.).

A elevação da retração observada na mudança de condição inicial de exposição nas séries submetidas à condição severa não aparece nas amostras submetidas a outra condição de exposição. Esse fato levanta a hipótese de que essa elevação pode ser causada pela retração térmica, pois os corpos-de-prova submetidos à condição 1 apresentavam temperatura superficial de  $(67 \pm 3)^{\circ}\text{C}$  e, quando passaram para a outra condição, essa temperatura superficial passou a ser de  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ .

A maior diferença devida ao tipo de exposição ficou entre as séries CC, com uma diferença de 45% na aceleração (período entre 3 e 24 horas) e de 38% no valor médio final.

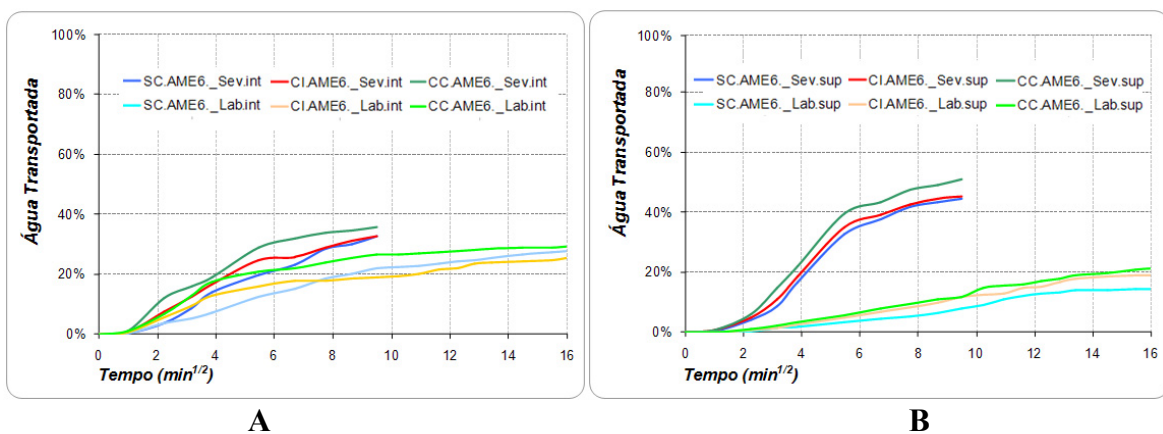


Figura 4.33 – Gráfico da perda de água na camada interna (A) e externa (B) do revestimento AME6 aplicado sobre os substratos SC, CI e CC na condição de exposição Sev. e Lab.

Conforme pode ser verificado nos resultados dos ensaios ligados ao acompanhamento da movimentação de água (Figura 4.33), o transporte de água das argamassas na

condição de exposição amena (Lab.) ocorreu, com uma interferência menor da evaporação da água, sofrendo maior influência da absorção pelos substratos. Já para as séries submetidas inicialmente a condição severa de exposição (Sev.) considera-se que a maior parte da movimentação acompanhada na superfície do revestimento se dá pela perda de água devido à evaporação, sendo a camada superficial a mais afetada por essa condição.

#### 4.4.4 - Ocorrência de descolamento e fissuração

Durante o ensaio, a única série que apresentou somente fissuras foi a CC.AME6H.30\_Sev., as séries sem chapisco (SC.AI.30\_Sev. e SC.AME6.30\_Sev.) apresentaram fissuração e descolamento do revestimento. As demais amostras não apresentaram nenhum outro tipo de patologia desse tipo durante o período de ensaio. Apenas durante o ensaio para determinação da resistência de aderência à tração do revestimento, após o corte e extração das amostras, foi possível avaliar a profundidade das fissuras e a altura do descolamento do revestimento. O gráfico com o acompanhamento da evolução da fissuração e do descolamento do revestimento é apresentado na Figura 4.34.

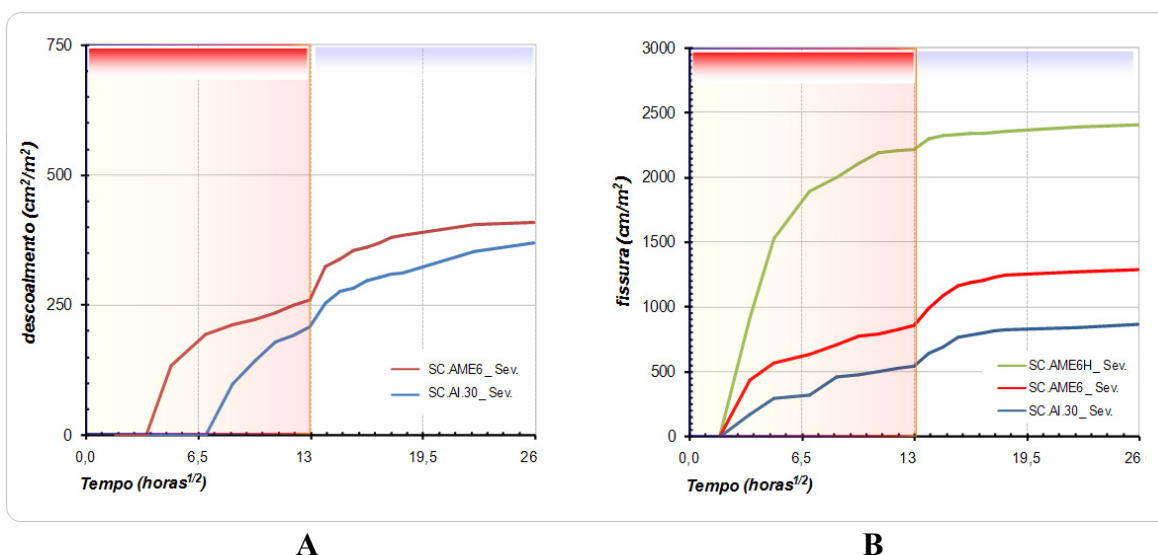


Figura 4.34 – Gráficos do acompanhamento do descolamento (A) e da fissuração (B).

Nas três amostras da série SC.AI.30\_Sev., após seis horas da aplicação da argamassa, surgiram na superfície do revestimento pequenas fissuras, com abertura máxima de 0,1 mm, ocorrendo um pequeno aumento do comprimento dessas fissuras até completar as primeiras 24 horas. A partir do terceiro dia foi detectado o início do descolamento do revestimento em uma pequena área na parte central dos corpos-de-prova, e um aumento na abertura das fissuras nessa região, em alguns casos, com abertura de, aproximadamente, 0,4 mm. Essas fissuras se mantiveram praticamente estáveis até o fim do período de exposição na condição severa. Com o início da segunda etapa do ensaio, tanto as fissuras quanto o descolamento do revestimento apresentaram aumento, se estabilizando até o terceiro dia de exposição nessa condição.

Foi observado o início da fissuração superficial do revestimento da série SC.AME6.30 após as quatro primeiras horas de ensaio. As fissuras apareceram na parte central do corpo-de-prova com abertura de 0,1 mm, e só após 24 horas da moldagem foi detectada a presença de descolamento do revestimento, também na região central. Após o terceiro dia de ensaio as fissuras pararam de crescer, permanecendo estabilizadas até a mudança da condição de exposição.

Logo após completarem duas horas e meia da aplicação do revestimento, os corpos-de-prova da serie CC.AME6H.30 apresentaram fissuras de forma aleatória, com aberturas variando de 0,1 mm a 0,2 mm, originando-se na região central da placa e seguindo para as extremidades. Apresentando um aumento na quantidade e na abertura das fissuras, chegando até a 0,5 mm de espessura, estabilizando-se após as primeiras doze horas. Em alguns casos, essas fissuras se propagaram até a superfície lateral das amostras. Nesse caso não houve mudanças significativas no índice de fissuração após as primeiras 24 horas e uma pequena elevação durante a mudança de condição de exposição. Cabe destacar que não ocorreu descolamento de nenhuma área do revestimento durante todo o ensaio.

Percebe-se que a intensidade do surgimento das fissuras é diferente para cada série acompanhada, conforme mostra a Figura 4.34. No caso das amostras CC.AME6H.30, o surgimento das fissuras foi mais precoce e intenso, apresentando as maiores aberturas, quando comparadas com as outras duas variáveis. A única explicação encontrada para



o surgimento das fissuras nessa série está atrelada a variação da composição da argamassa, ou seja, o maior volume de água, quando comparada a da série CC.AME6 que não apresentou fissuras. Acredita-se que, por apresentar uma maior quantidade de água esse argamassa permite que a retirada seja mais fácil (devido aos poros saturados). Assim a velocidade de movimentação do revestimento se mostra maior do que a encontrada para a série com um volume menor.

Quando se compara as argamassas aplicadas diretamente sobre o concreto, percebe-se que a argamassa industrializada leva certa vantagem sobre a argamassa mista, pois além de ter sido a última a apresentar fissuras e descolamento, ainda obteve o menor índice de fissuração. Atribui-se esse fato a maior capacidade de retenção de água devido a sua composição (aditivos e agregado).

Acredita-se que, com o aparecimento das fissuras, assim como, também, com o surgimento do descolamento, ocorre uma redução na movimentação superficial do revestimento devido ao alívio das tensões (relaxação) oriundas da movimentação de água e de outros fenômenos que geram retração ou expansão dessa camada.

#### **4.4.5 - Resultado do acompanhamento da movimentação interna do revestimento**

Na Figura 4.35 são mostrados os valores do deslocamento linear interno do revestimento em argamassa obtidos nesse ensaio. Cabe colocar que o acompanhamento da movimentação interna do revestimento foi feito durante 30 horas devido aos resultados obtidos no acompanhamento da movimentação superficial do revestimento que indicaram que as variações significativas ocorrem nesse período.

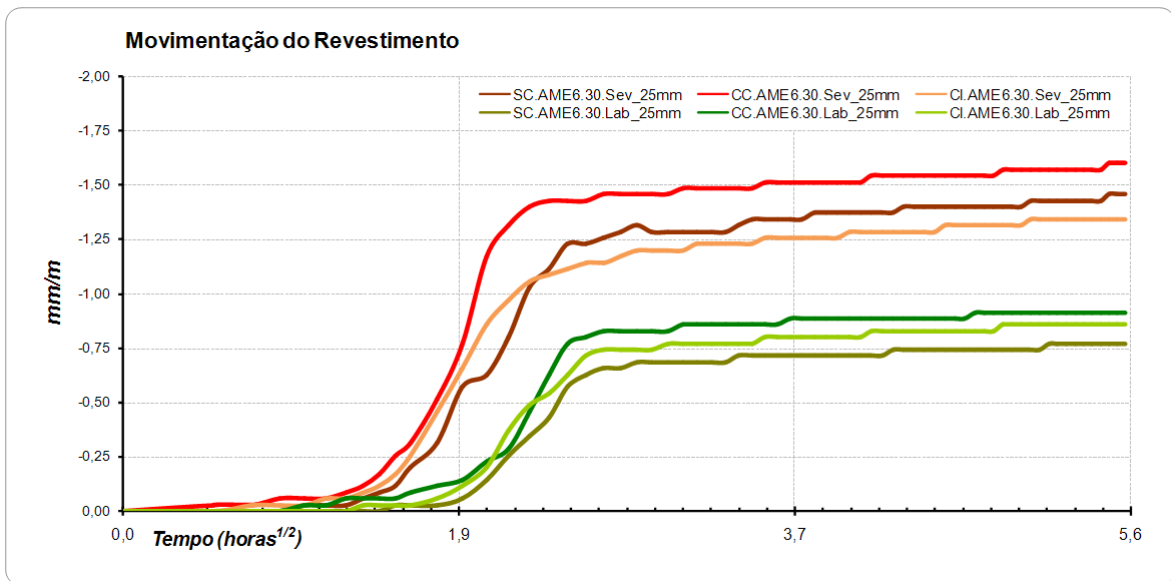


Figura 4.35 – Gráfico da movimentação interna do revestimento nos momentos pós-aplicação.

Percebe-se logo, quando se comprara os resultados, a formação de dois grupos, o primeiro com as séries expostas à condição mais amena, e o outro submetido à condição crítica de exposição, percebe-se também que a diferença ocasionada pela mudança no substrato torna-se mais evidente nas séries submetidas ao ensaio acelerado.

O comportamento obtido pelo SC.AME6.30\_Sev.\_25 mm se mostrou similar ao obtido no ensaio de acompanhamento da movimentação superficial, diferenciando um pouco do comportamento apresentado pelas outras duas séries (CI e CC) avaliadas nessa mesma condição severa de exposição. Esse fato, possivelmente, deve está associado à presença de fissuras com abertura inferiores a 0,05 mm observadas após um período de exposição de aproximadamente três horas, mas em menor quantidade do que as detectadas no ensaio anterior. Logo após esse ensaio, verificou-se que o revestimento apresentava um pequeno descolamento na região central do corpo-de-prova. Caso semelhante de descolamento, mas em uma área ainda menor, foi depois detectado na amostra SC.AME6.30.Lab, mas deve-se colocar que nessa amostra não foi detectada a presença de fissuras.

Dessa forma, o surgimento de fissuras na superfície e de descolamento do revestimento não causou mudanças significativas no comportamento apresentado pelas amostras

impossibilitando a associação das movimentações iniciais captadas com o surgimento de fissuras ou de descolamento do revestimento.

De uma forma global, os resultados obtidos mostraram que a movimentação do revestimento teve início antes das três horas de ensaio, o que não foi possível de detectar no acompanhamento superficial. O gráfico seguinte apresenta resultados obtidos da movimentação linear interna, em diferentes profundidades do revestimento

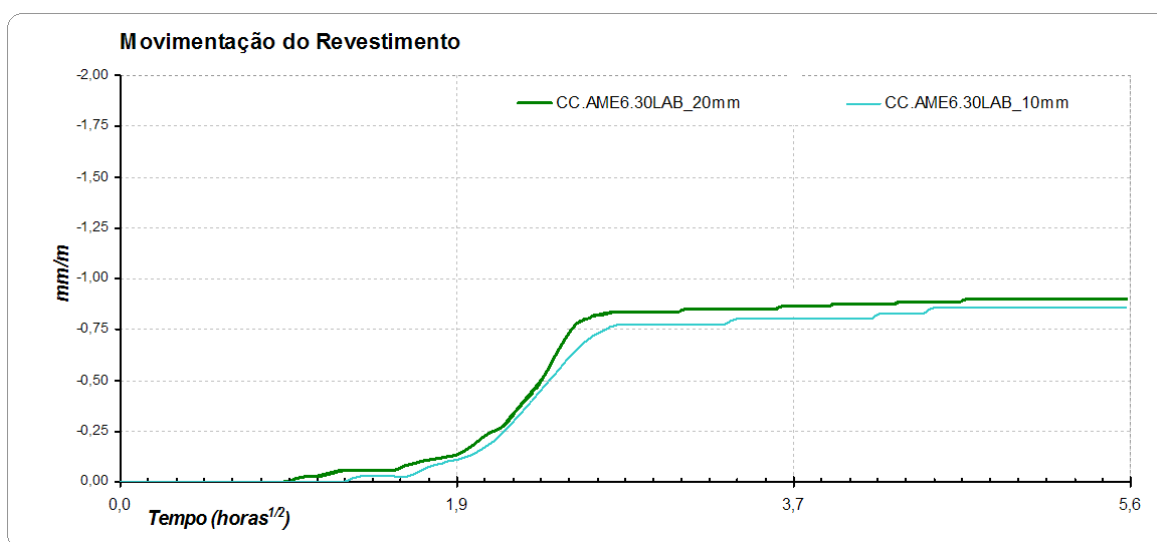


Figura 4.36 – Gráfico da movimentação interna do CC.AE6.30LAB a 10 mm e a 20 mm de distância do substrato.

Através do gráfico da Figura 4.36 nota-se que o acompanhamento da movimentação interna do revestimento em uma região a 10 mm da superfície do substrato se mostrou um pouco menor do que a ocorrida a uma distância de 20 mm, tanto em velocidade quanto em amplitude. Dessa forma, acredita-se que as movimentações que ocorrem na superfície externa possam ser ainda maiores do que as obtidas no interior do revestimento durante esse ensaio. Outro fato associado a esse resultado é que a camada mais interior do revestimento pode estar sendo impedida de se movimentar pela adesão inicial do revestimento ao substrato e posteriormente pela aderência. Acredita-se que a rugosidade do substrato exerce uma parcela significativa nesse travamento do revestimento. Outra forma de explicar essa diferença de movimentação é pela quantidade de água retirada pela evaporação ser maior do que a absorvida pelo substrato.

A movimentação vertical, chamada por alguns autores de assentamento plástico, também, foi mensurada durante esse ensaio. Os resultados obtidos são mostrados em forma de gráfico na Figura 4.37.

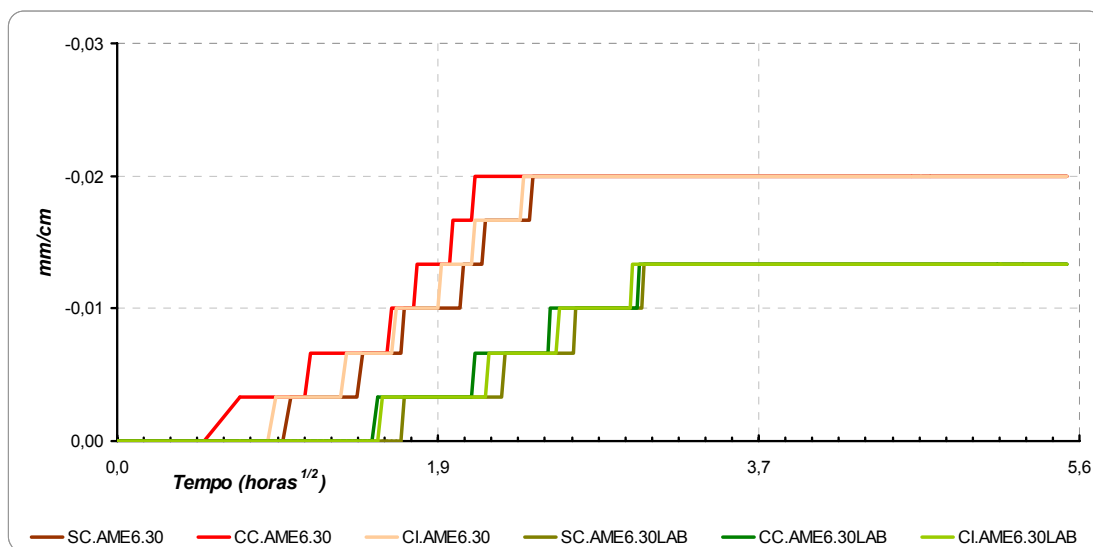


Figura 4.37 – Gráfico da movimentação vertical na superfície do revestimento nos momentos pós-aplicação.

Deve-se deixar claro que os batentes observados no gráfico não representam intervalos na nessa movimentação, mas são oriundos da sensibilidade do equipamento utilizado (0,001 mm) o que não invalida esse acompanhamento, pois nota-se que o comportamento da movimentação do grupo exposto à condição de exposição mais severa tem início mais cedo e apresenta valores mais elevados. Acredita-se que existe interferência por parte do substrato no volume de água que exsuda e é retirada pela evaporação.

#### 4.5 - RESULTADOS DO ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA A TRAÇÃO DO REVESTIMENTO

Após o encerramento do ensaio de retração superficial, foi realizado em uma das placas (amostra de número 3 de cada série) o ensaio de determinação da resistência de aderência à tração da argamassa de revestimento, adaptada da ABNT NBR 15258:2005.

Não foi possível realizar o ensaio com as amostras SC.AI.30 e SC.AME6.30, devido a presença de regiões com descolamento, ocasionado o desprendimento total dos corpos-de-prova após o corte, impossibilitando a continuação do ensaio. Os valores médios obtidos através do ensaio para determinação da resistência de aderência à tração do sistema de revestimento são apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Valores médios da resistência de aderência à tração das argamassas.

| <b>Nomenclatura</b> | <b>Resistência de Aderência (MPa)</b> | <b>Desvio Padrão</b> | <b>Coefficiente de Variação (%)</b> | <b>Forma Predominante de Ruptura</b> |
|---------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| SC.AME6.30_Lab.     | 0,02                                  | 0,02                 | 92                                  | Interface substrato/argamassa        |
| CI.AME6.30_Lab.     | 0,19                                  | 0,06                 | 33                                  | Argamassa de revestimento            |
| CC.AME6.30_Lab.     | 0,19                                  | 0,07                 | 36                                  | Argamassa de revestimento            |
| SC.AI.30_Sev.       | -                                     | -                    | -                                   | Interface substrato/argamassa        |
| CI.AI.30_Sev.       | 0,05                                  | 0,03                 | 49                                  | Argamassa de revestimento            |
| CC.AI.30_Sev.       | 0,04                                  | 0,02                 | 61                                  | Argamassa de revestimento            |
| SC.AME6.30_Sev.     | -                                     | -                    | -                                   | Interface substrato/argamassa        |
| CI.AME6.30_Sev.     | 0,04                                  | 0,02                 | 63                                  | Argamassa de revestimento            |
| CC.AME6.15_Sev.     | 0,03                                  | 0,01                 | 38                                  | Argamassa de revestimento            |
| CC.AME6.30_Sev.     | 0,04                                  | 0,02                 | 43                                  | Argamassa de revestimento            |
| CC.AME6.60_Sev.     | 0,03                                  | 0,02                 | 79                                  | Argamassa de revestimento            |
| CC.AME6H.30_Sev.    | 0,02                                  | 0,01                 | 34                                  | Argamassa de revestimento            |
| CC.AME12.30_Sev.    | 0,03                                  | 0,01                 | 54                                  | Argamassa de revestimento            |

Deve-se colocar que a maioria dos corpos-de-prova das amostras expostas à condição severa apresentou ruptura na camada superficial da argamassa, com valores menores do que 0,05MPa. A forma de ruptura das amostras expostas a condição mais amena (Lab.) também foi na argamassa de revestimento. Desta forma essa avaliação passa a ser da resistência a tração da argamassa e admite-se que a resistência de aderência do conjunto argamassa substrato possa ser maior ou igual aos resultados obtidos nessas condições. Chama-se atenção para o fato de que a forma de ruptura mostra o ponto mais fraco do sistema de revestimento.

A análise dos resultados mostra que o aumento da velocidade na retirada de água da argamassa causada pela exposição das amostras a uma condição mais severa, exerceu influência significativa nos resultados obtidos no ensaio. Observa-se, também, que, tanto nas séries submetidas à condição amena de exposição (Lab.), quanto nas expostas na condição severa (Sev.), nota-se que a aplicação dos chapiscos ocasiona um aumento nos valores médios dos resultados, quando comparados as séries sem o uso do chapisco. Dessa forma, o problema de aderência da argamassa de revestimento a placa de concreto foi associado à falta de um tratamento adequado, para atuar como incremento da aderência, nesse caso, observa-se que o chapisco serviu como ponte de aderência.

Os resultados médios de aderência à tração obtidos com a argamassa mista aplicada sobre o substrato padrão (SP.AME6) foram superiores aos obtidos com essa argamassa aplicada sobre os demais substratos (placa de concreto sem chapisco, com chapisco industrializado e convencional), submetidos a mesma condição de exposição (Lab.).

#### **4.6 - RESULTADOS DA POROSIMETRIA POR INTRUSÃO DE MERCÚRIO**

A seguir são apresentados os resultados em forma de gráficos obtidos para as argamassas com a realização desta técnica. Os gráficos do tipo (A), volume acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) *versus* diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ), indicam a quantidade total de mercúrio intrudido, por unidade de massa da amostra, a um determinado nível de pressão atingido durante o ensaio, representando a porosidade do material até o diâmetro de poro correspondente. A porosidade total da amostra pode ser vista no final do ensaio. Já os do tipo (B), volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) *versus* diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ ), indicam, pelo volume de mercúrio intrudido, a quantidade de poros de um determinado diâmetro.

Cabe salientar que os valores apresentados nos gráficos correspondem ao ensaio de uma amostra retirada na camada de superfície (sup) e outra na região de interface do revestimento com o substrato (int).

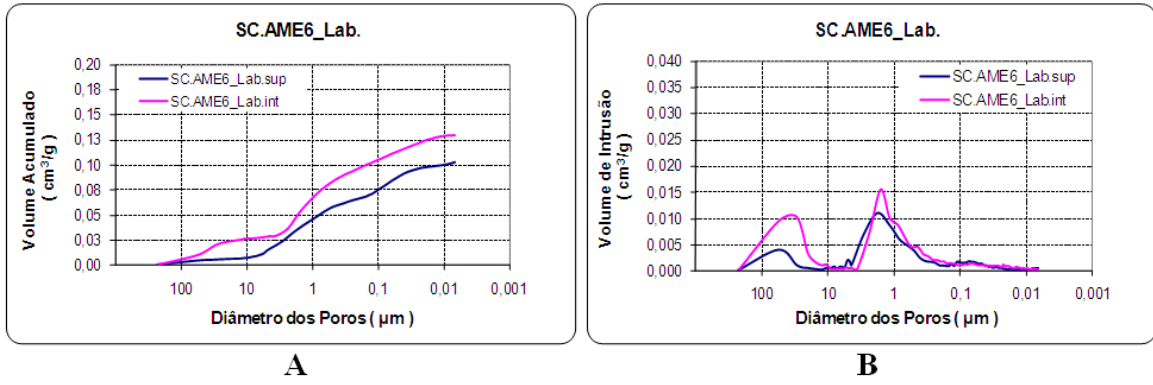


Figura 4.38 – Amostras SC.AME6\_Lab. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ). (B) volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ ).

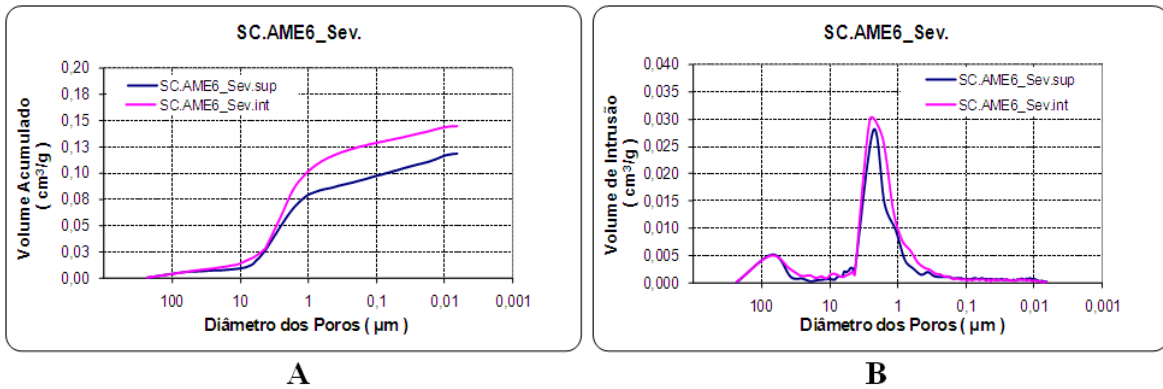


Figura 4.39 – Amostras SC.AME6\_Sev. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ). (B) volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ ).

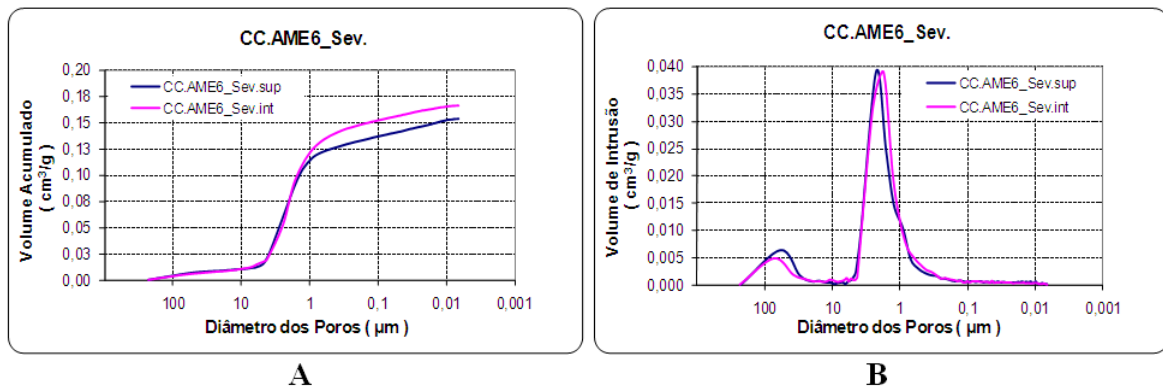


Figura 4.40 – Amostras CC.AME6\_Sev. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ). (B) volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ ).

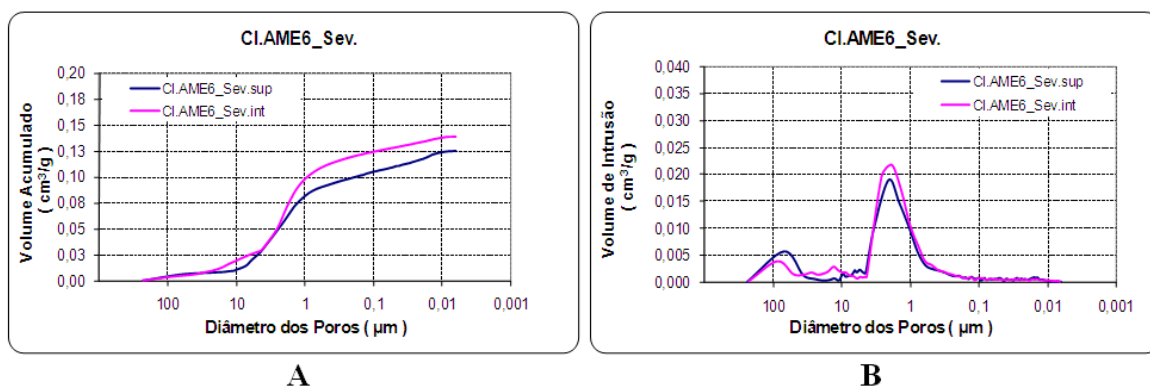


Figura 4.41 – Amostras CI.AME6\_Sev. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ). (B) volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ ).

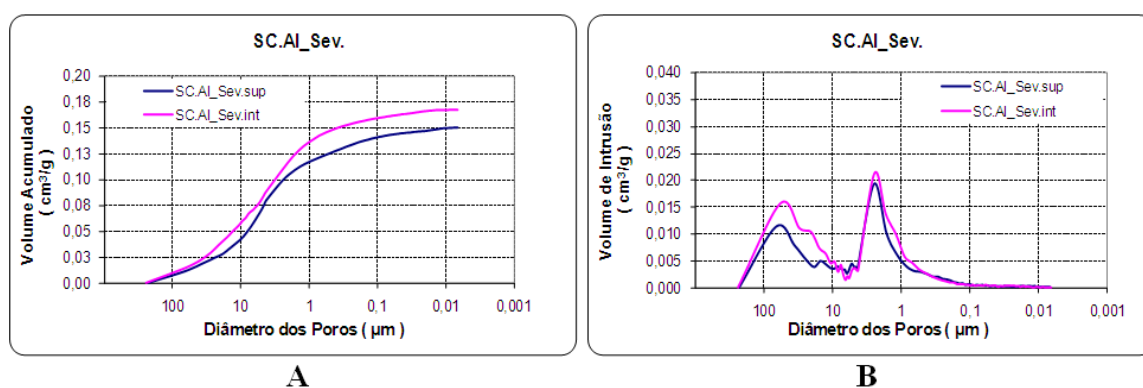


Figura 4.42 – Amostras SC.AI\_Sev. retiradas da região de interface argamassa/substrato (int) e outra na parte próxima da superfície externa (ext). (A) Volume acumulado ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetro dos poros ( $\mu\text{m}$ ). (B) volume incremental ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) versus diâmetros dos poros ( $\mu\text{m}$ ).

Através dos resultados do ensaio de porosimetria por intrusão de mercúrio foi possível constatar diferenças nas estruturas porosas das argamassas influenciadas pela variação do tipo de exposição, do preparo do substrato, do tipo de argamassa utilizada, bem como, distinções entre as duas regiões em que as amostras foram retiradas.

Outro fato observado foi que as amostras de argamassas extraídas da região de interface entre a argamassa e o substrato apresentam poros com diâmetros menores, quando comparados com as amostras retiradas da camada mais externa do revestimento. Admitindo que a permanência de água no revestimento por mais tempo ocasiona um volume maior de poros nas amostras, levanta-se a hipótese de que a retirada de água da camada superficial pela evaporação é mais intensa quando



comparada a retirada da água por absorção exercida pelo substrato. A partir dos resultados obtidos na determinação da perda de água das argamassas por absorção e por evaporação verificou-se que a camada de revestimento próxima do substrato perde menos água do que a situada próxima da superfície. De posse dessa informação pode-se validar a hipótese anterior com relação à influência da forma e da intensidade que a água é retirada da argamassa, na dimensão dos poros.

Nos gráficos apresentados na Figura 4.38 e Figura 4.39, percebe-se que ocorreu uma mudança na distribuição de tamanho de poros diferente para as série SC.AME6, causada pela variação do tipo de exposição. Observa-se também que essa variação exerce influência na porosidade das duas camadas, e que a exposição severa ocasionou um aumento da quantidade de poros de diâmetros próximos a 1,6  $\mu\text{m}$  e diminuição, principalmente na camada interna, da quantidade de poros com diâmetros maiores, próximo dos 30  $\mu\text{m}$ .

Essa mudança na condição de exposição inicial dos revestimentos, ainda, ocasionou um aumento da porosidade total da argamassa submetida à condição severa, tendo maior influência sobre a camada localizada na região de interface.

#### **4.7 - AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS**

A partir da Tabela 4.6, pode-se ter uma visão geral dos principais resultados obtidos; nos ensaios realizados nos substratos, nas argamassas e nos revestimentos, indicando o aparecimento de fissuras e descolamento da argamassa.

Tabela 4.6 – Resumo com os principais resultados e indicação de fissuras e descolamento das séries ensaiadas.

| Nomenclatura            | SUBSTRATO          |   | ARGAMASSA                  |                      |                            |                            | REVESTIMENTO               |                             |            |              |
|-------------------------|--------------------|---|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------|--------------|
|                         | Absorção total (%) | Absortividade (mm.min <sup>-1/2</sup> ) | Teor de ar incorporado (%) | Retenção de água (%) | Módulo de deformação (GPa) | Varição dimensional (mm/m) | Índice de retração inicial | Movimentação 28 dias (mm/m) | Fissura    | Descolamento |
| <b>SC.AI.30_Sev.</b>    | <b>16,3</b>        | <b>0,38</b>                             | <b>16,5</b>                | <b>78</b>            | <b>0,57</b>                | <b>0,25</b>                | <b>0,0597</b>              | <b>-0,307</b>               | <b>sim</b> | <b>sim</b>   |
| CI.AI.30_Sev.           | 13,7               | 0,57                                    | 16,5                       | 78                   | 0,57                       | 0,25                       | 0,0610                     | -0,329                      | -          | -            |
| CC.AI.30_Sev.           | 12,2               | 0,7                                     | 16,5                       | 78                   | 0,57                       | 0,25                       | 0,0427                     | -0,393                      | -          | -            |
| <b>SC.AME6.30_Sev.</b>  | <b>16,3</b>        | <b>0,38</b>                             | <b>4,4</b>                 | <b>71</b>            | <b>0,82</b>                | <b>0,33</b>                | <b>0,0261</b>              | <b>-0,203</b>               | <b>sim</b> | <b>sim</b>   |
| CI.AME6.30_Sev.         | 13,7               | 0,57                                    | 4,4                        | 71                   | 0,82                       | 0,33                       | 0,0703                     | -0,350                      | -          | -            |
| CC.AME6.30_Sev.         | 12,2               | 0,70                                    | 4,4                        | 71                   | 0,82                       | 0,33                       | 0,0503                     | -0,421                      | -          | -            |
| CC.AME6.15_Sev.         | 12,2               | 0,70                                    | 4,4                        | 71                   | 0,82                       | 0,33                       | 0,0527                     | -0,348                      | -          | -            |
| CC.AME6.60_Sev.         | 12,2               | 0,70                                    | 4,4                        | 71                   | 0,82                       | 0,33                       | 0,1006                     | -0,526                      | -          | -            |
| <b>CC.AME6H.30_Sev.</b> | <b>12,2</b>        | <b>0,70</b>                             | <b>4,1</b>                 | <b>72</b>            | <b>0,73</b>                | <b>0,34</b>                | <b>0,0569</b>              | <b>-0,355</b>               | <b>sim</b> | -            |
| CC.AME12.30_Sev.        | 12,2               | 0,70                                    | 4,5                        | 72                   | 0,68                       | 0,38                       | 0,0874                     | -0,475                      | -          | -            |
| SC.AME6.30_Lab.         | 16,3               | 0,38                                    | 4,4                        | 71                   | 0,82                       | 0,33                       | 0,0163                     | -0,160                      | -          | -            |
| CI.AME6.30_Lab.         | 13,7               | 0,57                                    | 4,4                        | 71                   | 0,82                       | 0,33                       | 0,0356                     | -0,230                      | -          | -            |
| CC.AME6.30_Lab.         | 12,2               | 0,70                                    | 4,4                        | 71                   | 0,82                       | 0,33                       | 0,0276                     | -0,260                      | -          | -            |

Inicialmente pode-se colocar, com relação aos substratos do estudo, que existe uma redução na absorção total de água e um aumento na absorvidade quando se aplica o chapisco ao substrato de concreto. Observa-se, também, nesses resultados, que a argamassa industrializada apresentou, no estado fresco, os maiores percentuais de ar incorporado e de retenção de água, e no estado endurecido, os menores valores do módulo de deformação e de variação dimensional. Para a argamassa mista E6 a elevação no teor de água na mistura (E6H) exerceu pouca interferência nos resultados de caracterização apresentados na Tabela 4.6. Com relação aos resultados do ensaio para a determinação do módulo de deformação nota-se que ocorreu uma redução nos valores médios obtidos com o aumento do teor de água e com a substituição do cimento pela cal (AME6 para AME12).

Quando é feita a checagem entre as séries sem chapisco percebe-se que as amostras submetidas à condição severa de exposição apresentaram fissuras e descolamento, enquanto a série exposta à condição de laboratório não apresentou nenhum tipo de manifestação patológica. Nessa comparação percebe-se que o menor índice de retração inicial e o menor valor da movimentação superficial pertencem à série submetida à condição de laboratório de exposição (SC.AME6.30\_Lab.).

Levando em consideração o índice de retração inicial das séries sem chapisco submetidas à condição severa de exposição, nota-se que somente as amostras revestidas com argamassa convencional apresentaram valores menores do que as séries com chapisco nessa mesma condição de exposição. Esse fato se repetiu para as séries exposta a condição de laboratório. Acredita-se que esse fato pode estar relacionado com a capacidade de retenção de água da argamassa associada à absorvidade do substrato, que atuam no período pós-aplicação da argamassa.

Analisando as ocorrências de fissuração percebe-se que os maiores índices de retração inicial, obtidos no período a partir de três horas, não são das argamassas que apresentam essa manifestação patológica, levando a crer que essa patologia pode ter sido originada antes do início do acompanhamento do ensaio de movimentação superficial do revestimento, contribuindo para a redução da movimentação superficial total, dissipando as tensões internas do revestimento.

Outro fato observado, nesse mesmo sentido, foi que a série CC.AME6H.30\_Sev. (argamassa mista com mais água), que apresentou fissuras, quando comparada com a série CC.AME6.30\_Sev., que não apresentou fissura ou descolamento, obteve um índice de retração inicial superior (aproximadamente 10%) e ao final do ensaio apresentou uma movimentação total inferior, levantando a hipótese de que o aparecimento de fissuras pode ter ocorrido ou ter se intensificado em um período posterior ao utilizado para a determinação do índice de retração inicial.

Ao confrontar as séries que apresentaram fissuras e descolamento (amostras sem chapisco e com o mesmo tipo de argamassa) com outras séries com chapisco (industrializado e convencional) nas duas condições de exposição (severa e de laboratório), observa-se que elas apresentaram os menores valores de movimentação total aos 28 dias, mostrando que o tipo de preparo do substrato influencia significativamente nesse resultado.

Os resultados obtidos no ensaio da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento mostraram que a forma de exposição inicial exerce influência no desempenho do revestimento, apesar desses, em sua maioria, representarem apenas a resistência da argamassa à tração, por isso, não foram colocados na Tabela 4.6 com intuito de evitar a adoção desses valores como parâmetros para definir as tendências de comportamento dos revestimentos estudados.

Percebe-se que através da associação das características dos substratos e das argamassas não se pode definir, com precisão, o comportamento do sistema de revestimento, uma vez que o meio ambiente a qual o sistema ficará exposto, representado nos ensaios como a forma de exposição das amostras, exerce forte influência no desempenho do sistema de revestimento.

#### **4.8 - PROPOSTA DE UM MODELO PARA RETRAÇÃO, FISSURAS E DESCOLAMENTO DO REVESTIMENTO**

Surgiu, após a obtenção dos resultados dessa pesquisa, a necessidade de se propor um modelo detalhado para a explicação do mecanismo de descolamento e fissuração,

ocasionados pela retração acentuada do sistema de revestimento à base de argamassa aplicada sobre substratos de concreto.

Para a explicação dos mecanismos envolvidos, além da utilização do conhecimento adquirido durante o acompanhamento dos ensaios realizados em laboratório e de observações feitas durante as investigações das manifestações patológicas em obras (casos práticos de descolamento e fissuração acompanhados durante a realização dessa pesquisa), foram utilizadas informações de aspectos teóricos baseados na literatura pesquisada.

Com relação aos fatos observados em obra, pode-se relatar inicialmente que essas manifestações ocorreram em revestimentos aplicados sobre estruturas de concreto (pilares e vigas) com resistência à compressão superiores a 30 MPa, tendo maior incidência durante o período de baixa umidade relativa do ar ( $U.R. \leq 35\%$ ), com gradientes de temperatura diário elevados ( $\Delta t_{24 \text{ horas}} > 20^\circ\text{C}$ ), e em alguns casos, com incidência de ventos fortes. A Figura 4.43 ilustra a condição inicial a que o revestimento está submetido.

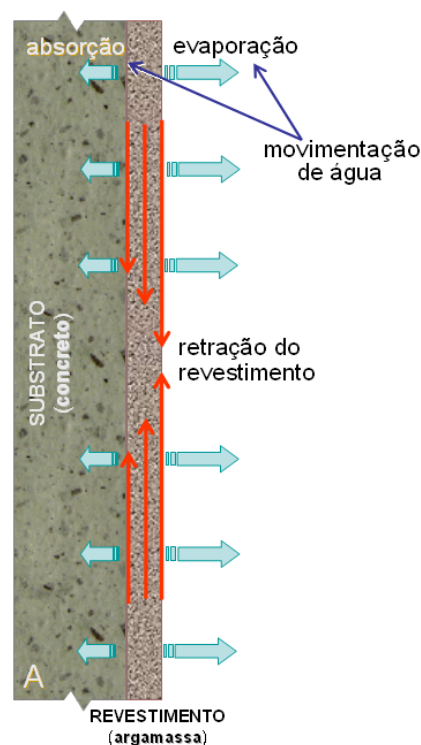


Figura 4.43 – ilustração da condição inicial do revestimento em argamassa (adaptada de Carasek et al., 2005).

No momento pós-aplicação parte da água de amassamento da argamassa é consumida internamente pelas reações de hidratação dos aglomerantes. O revestimento ainda perde água para o substrato e para o meio. A intensidade da movimentação de água vai depender de vários fatores como: o meio em que o revestimento está exposto, o tipo de base em que ele foi aplicado, dentre outros fatores. Com base em informações obtidas nos experimentos desta pesquisa, pôde-se dizer que a movimentação de água causada pela evaporação, somada à parcela da absorção pelo substrato, geraram uma retração hidráulica acentuada ocasionando mudanças no volume da argamassa de revestimento que contribui para o aumento das tensões.

Durante o acompanhamento em campo, pôde-se observar que o surgimento de fissuras, em alguns casos, pode surgir nos momentos de pós-aplicação do revestimento, geralmente logo após as operações de acabamento superficiais da argamassa, como o desempenho. Os descolamentos só começaram a ser percebidos, em determinados casos, entre 24 e 48 horas, e em outros até meses após a aplicação da argamassa, tanto nas regiões internas quanto externas das obras. De uma forma geral, o aparecimento do descolamento e da fissuração está ligado a uma ação conjugada e sinérgica de vários fatores, sendo os principais a falta de condições adequadas para a ancoragem do revestimento na base e a condição ambiental.

A informação principal, com relação ao aparecimento dessas patologias no revestimento, observada nesse trabalho, foi que podem surgir regiões com descolamentos sem apresentar fissuras, assim como locais só com fissuras, sem descolamento, mas também, ocorrem casos onde se verifica primeiramente o surgimento do descolamento e em seguida passam a existir fissuras.

#### **4.8.1 - Ocorrência de descolamentos:**

Primeiramente deve-se colocar que os descolamentos observados ocorrem na região de interface entre o revestimento e a base (concreto). Dessa forma classifica-se que uma das principais causas para a ocorrência desse problema está ligada baixa aderência à base. Os motivos encontrados que justificam essa deficiência estão ligados à falta de

limpeza da base ou uma limpeza inadequada antes da aplicação do chapisco, e à baixa absorção do substrato associada a uma baixa rugosidade da superfície, uma vez que a aderência entre uma argamassa (seja ela de chapisco ou de revestimento) e o substrato se dá pela penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação (Carasek, 1996).

Outro ponto importante, que deve ser citado, é que de acordo com Paes (2004) ao se aplicar o revestimento sobre substrato com baixo poder de sucção e com espessuras maiores, o transporte de água inicial fica comprometido, principalmente, na região mais próxima à superfície. Portanto, é provável, que em revestimento executados desta forma (maior espessura) o transporte de água da argamassa, na camada mais externa, seja intensamente afetado pelo meio ambiente (evaporação). Os primeiros cinco minutos, segundo Brocken et al. (1998), são de fundamental importância na adesão inicial da argamassa ao substrato. Os autores chegaram a esta conclusão após estudarem a influência do pré-molhamento do substrato na retirada de água da argamassa. Davison (1961), Groot (1998) e Candia (1998), do mesmo modo, verificaram uma redução substancial do conteúdo de água neste período do contato da argamassa com a base de aplicação.

Conforme já mencionado, a adesão inicial é a propriedade da argamassa que lhe permite permanecer aderida ao substrato após a aplicação, não significando a adesão dessa de forma definitiva, podendo, também, ser resultante das forças de dispersão entre a argamassa fresca e o substrato (Santos, 2003). Esta propriedade é fundamental no comportamento futuro do revestimento. A forma como ocorre essa adesão depende tanto das características de trabalhabilidade da argamassa, quanto das características de porosidade do substrato. Espera-se que uma argamassa trabalhável apresente plasticidade e viscosidade suficiente para permitir que o operário a manuseie e a aplique sobre a base e, concomitantemente a esta operação, ela permaneça em contato com o substrato, sob a ação de seu peso próprio, sem descolamento e escorrimento.

No caso dos revestimentos de maior espessura, em virtude das forças existentes que restringem o fluxo da água, a quantidade e a velocidade de água transportada para o interior do substrato é menor. Este fato pode trazer de imediato, a majoração do tempo

para realização das operações de acabamento do revestimento pelo maior teor de água no interior da argamassa. O maior peso próprio do revestimento pode majorar as tensões de cisalhamento impostas ao movimento descendente deste, que caso não o suporte, provoca o efeito de deslocamento e/ou escorrimento da argamassa. Em obras, é comum se notar a ocorrência de falhas na adesão inicial, levando a deslocamentos e/ou escorrimentos da argamassa recém-lançada (primeiros minutos), conforme mostrado na Figura 4.44 (a), (b) e (c).

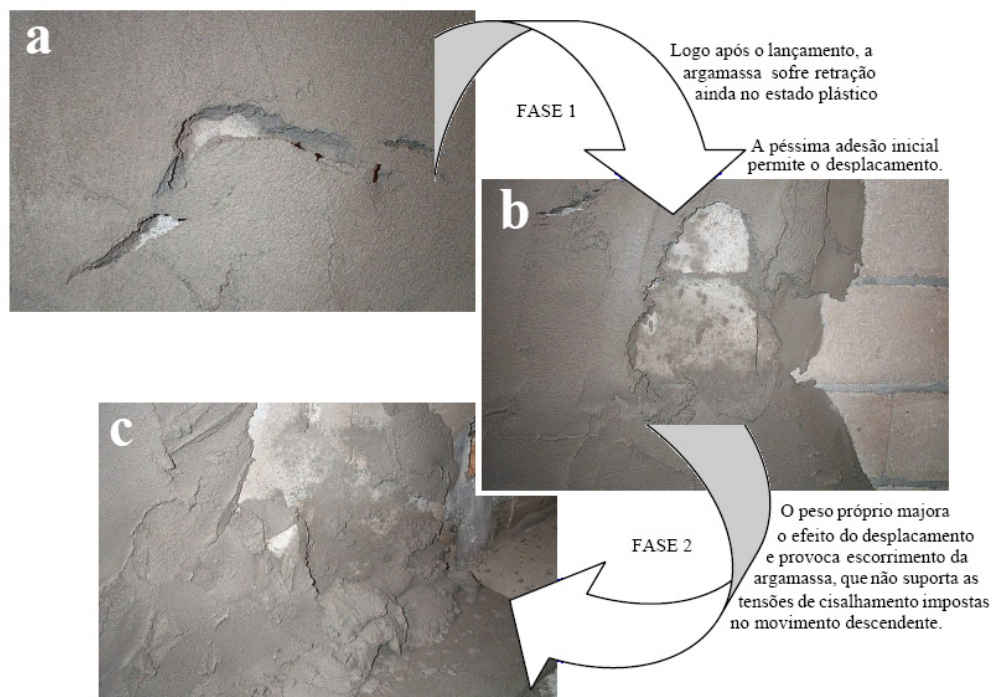


Figura 4.44 – Adesão inicial insatisfatória (Gonçalves, 2004).

A ocorrência deste tipo de falha pode ser minimizada pela interação de alguns fatores, como por exemplo, os cuidados na execução, os materiais utilizados e um tratamento de base adequado segundo o tipo de substrato empregado. Cabe também ressaltar, que a adesão inicial, ou aderência da argamassa fresca à base, é a propriedade que determinará o comportamento futuro do conjunto base-revestimento quanto ao desempenho decorrente da aderência. A forma como ocorre essa adesão inicial depende tanto das características de trabalhabilidade da argamassa, quanto das características de porosidade ou rugosidade da base ou de tratamento prévio que aumente a superfície de contato entre os materiais (Cincotto et al, 1995).



Deve-se lembrar que o uso de desmoldante pode contribuir ou acelerar o aparecimento dessa patologia do descolamento, pois cria uma camada hidrofugante dificultando a penetração da pasta aglomerante para o interior da camada superficial da base. Mas ele não é a causa isolada, pois verificou-se em obra a ocorrência de descolamentos em revestimento aplicados sobre superfícies de concreto concebidas em formas que não receberam nenhum tipo de desmoldante.

Durante a fase experimental observou-se que apenas os revestimentos aplicados diretamente sobre a base de concreto apresentaram descolamentos, ratificando o que foi anteriormente comentado. Além disso, os dois tipos de chapiscos empregados interferiram na absorção de água e apresentaram melhorias na aderência do revestimento.

Durante o acompanhamento em campo percebeu-se que as argamassas industrializadas aplicadas por projeção mecânica apresentaram uma maior incidência de descolamento sem a ocorrência de fissuras. Atribui-se esse tipo de descolamento à maior quantidade de água que é adicionada a essa argamassa para ser projetada, contribuindo de duas maneiras para o aparecimento do descolamento. A primeira é pelo elevado teor de água, quando comparada à mesma argamassa aplicada pelo processo convencional (manual), que será transportado para fora da argamassa causando maiores movimentações, e a segunda ao módulo de deformação da argamassa.

Um ponto intrigante, detectado durante o acompanhamento de regiões com descolamento, é que, em alguns casos, o processo de descolamento se mostrou bastante heterogêneo, apresentando em um mesmo pano regiões com valores de resistência de aderência maiores do que os exigidos por norma e outras completamente descoladas, e, mesmo assim, o descolamento continuava a se propagar para a outra região.

Com essas informações acredita-se que o descolamento surge pontualmente em regiões que apresentam baixa aderência ou falhas de aderência, a partir da ultrapassagem do limite de aderência pelas tensões provocadas pela retração do pano de revestimento. Em um segundo momento esse local de descolamento se torna ponto de dissipação de tensões e vai aumentando conforme vão ocorrendo movimentações no revestimento.

Em alguns casos, dependendo do tamanho da área revestida ou das solicitações impostas ao revestimento, esse descolamento pode alcançar grandes proporções. A figura a seguir ilustra a ocorrência do descolamento.

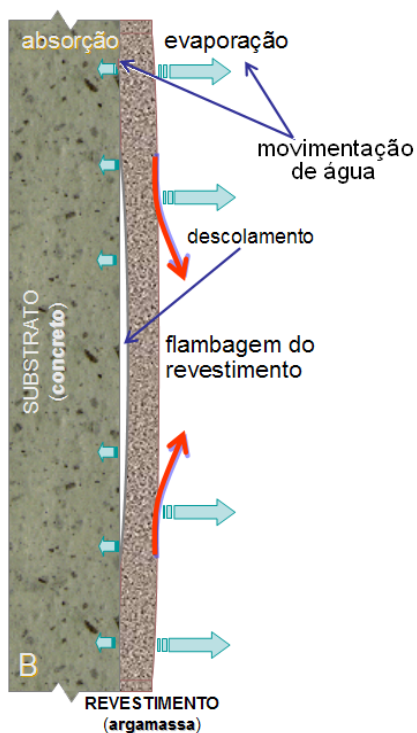


Figura 4.45 – Ilustração do descolamento do revestimento em argamassa (adaptada de Carasek et al., 2005).

#### 4.8.2 - Ocorrência de fissuras

A ocorrência de fissuras superficiais mapeadas ou sem orientação preferencial (randômica), em geral com as fissuras se cruzando em ângulos próximos a 90°, denota a elevada retração sofrida pela argamassa nos momentos pós-aplicação. Acredita-se que essas fissuras surgem em regiões heterogêneas, onde o revestimento apresenta falha ou descontinuidade, a partir de uma solicitação da tração ocasionada pela secagem superficial no revestimento. A Figura 4.46 mostra o aparecimento de fissuras superficiais no revestimento.

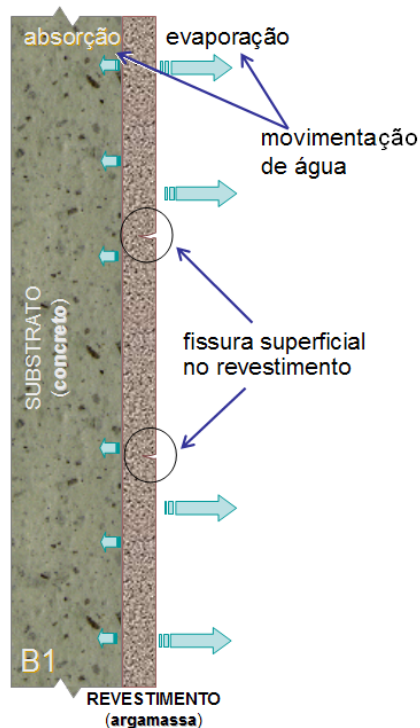


Figura 4.46 – Ilustração do aparecimento de fissuras no revestimento de argamassa.

Em alguns casos evidenciou-se o surgimento de fissuras superficiais devido a erros ocorridos durante o procedimento executivo de acabamento, como sarrafeamento precoce e desempenho excessivo, que são classificadas, muitas vezes, como fissuras não ativas. Nesse sentido, percebeu-se nos corpos-de-prova da série CC.AME6H, com o surgimento das fissuras induzidas pela a grande quantidade de água adicionada na mistura, que a movimentação ocasionada pela mudança na condição de exposição provocou um aumento na espessura de abertura e no comprimento dessas fissuras, o que mostra que o carregamento térmico pode torná-las ativas.

Através dos resultados obtidos durante o acompanhamento do surgimento das fissuras e de sua evolução acredita-se que a velocidade da retirada precoce de água da argamassa seja um fator interveniente na profundidade da abertura, pois nesse período inicial a resistência à tração ainda é muito baixa, o que facilita essa abertura.

Sabe-se que o surgimento de fissuras na camada de revestimento ocasiona um alívio de tensões das regiões adjacentes. A partir desse fato, acredita-se que ocorre uma redução no aparecimento de descolamentos em regiões fissuradas, nesses casos, a fissura passa a atuar como uma junta de movimentação do revestimento.

### 4.8.3 - Ocorrência de descolamentos e de fissuras

Nos casos onde o descolamento ocorre antes da fissuração, imagina-se que a fissura surge em decorrência da flambagem do revestimento provocado pelo descolamento, e vai da superfície para o interior do revestimento, ou seja, surge na região de maior solicitação à tração, devido ao arqueamento dessa camada (Figura 4.47).

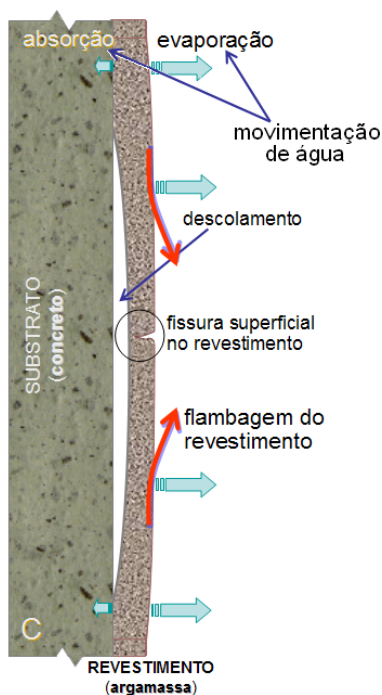


Figura 4.47 – Ilustração do descolamento a aparecimento de fissuras no revestimento de argamassa (adaptada de Carasek et al., 2005).

De acordo com Joisel (1981), uma menor resistência de aderência ao cisalhamento implica em maiores aberturas de fissuras no revestimento (não necessariamente à maior quantidade de fissuras), o que pode tornar tal fissuração mais notória, ou seja, mais visível a olho nu.

Pode-se conseguir uma redução na quantidade, no comprimento e no tamanho das aberturas das fissuras com o uso de argamassas com menor módulo de deformação. Esse fato está constatado na comparação da quantidade de fissuras e da área de descolamento, em função do tempo, entre as placas de concreto com revestimentos de argamassa industrializada com as revestidas com argamassa mista, apresentada neste trabalho.

Nesse caso, a argamassa adotada (AME6) apresentava uma menor capacidade de reter água e módulo de deformação maior quando comparada à argamassa industrializada (AI), além de estar sujeita a uma condição crítica de exposição (condição 1).

#### 4.8.4 - Ocorrência de fissuras e de descolamentos

Durante a realização dos ensaios de movimentação superficial do revestimento percebeu-se que em determinadas condições a fissuração ocorre antes do descolamento. Desta forma, atribui-se o surgimento das fissuras na superfície de revestimento à retração superficial causada pela retirada de um maior volume de água de forma rápida. O surgimento do descolamento não foi impedido pela formação de fissuras, pois elas inicialmente eram superficiais, com pequena abertura ( $\leq 0,01$  mm), seu crescimento se estabilizou após o endurecimento da argamassa. Todavia, após o surgimento do descolamento, retomaram o processo de crescimento em tamanho e abertura.

Observa-se na superfície da amostra retirada da região central do corpo-de-prova SC.AME6 características de fissuras ocasionadas por retração, e, na região lateral da amostra, nota-se que a fissura praticamente atravessa toda a camada de revestimento e apresenta uma abertura maior na superfície (Figura 4.48).



Figura 4.48 – Amostra extraída da região do revestimento com fissuras do corpo-de-prova SC.AME6.30\_Sev.

Acredita-se que essa forma de descolamento só foi possível devido à baixa resistência de aderência, nesse caso, ocasionada pela aplicação do revestimento diretamente na superfície de concreto.

## **5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

Julgou-se imprescindível, ao fim desse trabalho, tecer algumas considerações pontuais sobre os principais itens avaliados neste estudo. Por fim, são também apresentadas nesse capítulo algumas sugestões para a continuação da pesquisa.

### **5.1 - CONCLUSÕES**

As conclusões feitas a partir deste trabalho foram divididas em duas partes, e são mostradas a seguir:

#### **5.1.1 - Quanto aos objetivos propostos**

Pode-se dizer que os objetivos propostos no início deste trabalho foram alcançados. A metodologia experimental de avaliação e estudo utilizada para acompanhar a movimentação, interna e externa, da argamassa de revestimento aplicada sobre substrato de concreto se mostrou adequada, uma vez que além de conseguiu reproduzir em laboratório os fenômenos que ocasionam o descolamento e a fissuração do revestimento, tornou possível a determinação das principais variáveis envolvidas nesse processo e, em alguns casos, atribuir valores a elas.

Com o término deste trabalho, pode-se colocar que os resultados, obtidos na parte experimental, indicam que dentre as possíveis causas da movimentação do revestimento, a retração causada, principalmente, pela perda de água (retração hidráulica), exerce interferência direta, contribuindo para o aparecimento do descolamento e de fissuras. A partir desses dados pôde-se chegar a uma proposta de modelo para a ocorrência desses problemas, listando as principais variáveis observadas que interferem no seu aparecimento e na sua propagação.

Outro objetivo alcançado por esta pesquisa foi o avanço no entendimento do descolamento e a fissuração do revestimento ligado a movimentação de água da

argamassa, considerando que podem ocorrer: apenas a movimentação do revestimento, sem o aparecimento de fissuras e/ou descolamento; apenas a fissuração ou o descolamento; o descolamento e a fissuração, como fatores interligados; e a fissuração e o descolamento como fatores individuais.

### **5.1.2 - Quanto aos resultados obtidos**

Os ensaios laboratoriais realizados nesta pesquisa conseguiram reproduzir e acompanhar as variações induzidas no revestimento, simulando condições próximas às encontradas em obras, fornecendo resultados satisfatórios que deram uma idéia geral do comportamento das argamassas ligado à retração e ao surgimento de fissuras e descolamento do revestimento. A seguir são apresentadas as considerações feitas para as principais variáveis levantadas nesse estudo.

#### **5.1.2.1 - Preparação do substrato:**

O preparo do substrato foi variado com a intenção de poder observar a sua interferência na aderência do revestimento aplicado sobre base de concreto, além de obter mudanças no perfil de absorção de água ao longo do tempo.

Através dos resultados obtidos no ensaio de absorção capilar pode-se ter uma idéia dessa modificação causada pela adoção de diferentes tratamentos superficiais (limpeza superficial, sem chapisco - SC; chapisco industrializado - CI; e chapisco convencional - CC) na absorção de água livre. Dessa forma, obteve-se com o substrato de concreto sem chapisco a menor velocidade inicial e o maior volume de água total absorvido durante o período de ensaio. Para os substratos com chapisco foi evidenciada uma diferença nas características de absorção, o chapisco convencional teve a maior absorção inicial e o industrializado o maior volume de água. Outros indicativos da influência da variação do tipo de preparo do substrato na movimentação de água foram obtidos através diferenças nos resultados dos ensaios de perda de água das argamassas por absorção e evaporação e de porosimetria da argamassa de revestimento, por intrusão de mercúrio.

Além dos resultados das avaliações que envolvem absorção de água, o ensaio para determinação da resistência de aderência por tração do revestimento apresentou, nos seus resultados, diferenças atribuídas à variação do tipo de preparo do substrato, aqui associadas a mudanças na absorção e rugosidade dessas camadas. Dessa forma, ficou evidenciada a importância do uso chapisco como regulador da absorção de água e como ponte de aderência entre a base e o revestimento. Deve-se colocar que o preparo de base exerceu interferência na movimentação do revestimento e no surgimento do descolamento do revestimento, destacando, dentre os tipos de preparação de substrato avaliados, o chapisco industrializado como sendo o mais adequado para o uso em estruturas de concreto, com superfície lisa e pouco porosa (características comuns aos concretos atuais), sob condição severa de exposição, onde há solicitações intensas.

#### 5.1.2.2 - Argamassas:

As argamassas avaliadas mostraram comportamentos parecidos, com pequenas diferenças percebidas nos ensaios de caracterização devido às variações causadas pela mudança da composição. Quando a avaliação passava a ser focada na forma de revestimento, verificou-se que essas pequenas diferenças percebidas nos ensaios de caracterização são novamente observadas nesses outros ensaios.

As avaliações feitas destacam, principalmente, a capacidade de retenção de água juntamente com algumas características mecânicas como o módulo de deformação, como propriedades que exerce interferência no tempo em que ocorre a movimentação do revestimento e na intensidade desses movimentos. Outro fato importante observado foi que a quantidade de água na mistura é fator fundamental para o aparecimento de fissuras no revestimento.

#### 5.1.2.3 - Espessura do revestimento:

No ensaio de acompanhamento da movimentação superficial observou-se que o revestimento com maior espessura (60 mm) apresenta o maior valor final médio de movimentação superficial e o maior índice de movimentação superficial inicial entre as



três espessuras avaliadas. Já o revestimento de menor espessura (15 mm) apresenta a menor movimentação média final desse grupo.

Dessa forma pode-se afirmar que a espessura do revestimento interfere consideravelmente na movimentação superficial do revestimento. Como não foi observada a presença de fissuras nem descolamento do revestimento causado por essa variável, a preocupação passa a ser quando grandes espessuras são utilizadas como camada de emboço para revestimentos cerâmicos. Acredita-se que essa movimentação da argamassa poderá causar tensões que serão propagadas e armazenadas até chegar ao limite de resistência do revestimento causando, em seguida, o descolamento das camadas seguintes (argamassa colante e peças cerâmicas).

#### 5.1.2.4 - Condição de exposição

A comparação das condições de exposição severa (condição Sev.) com a condição de exposição mais amena (condição Lab.) demonstrou a necessidade de se atenuar os fatores que aceleram a evaporação de água da argamassa nos momentos de aplicação e pós-aplicação. As conseqüências geradas pelo aumento ou antecipação da retirada de água do revestimento durante a fase plástica repercutem nas propriedades da fase endurecida da argamassa. Outro ponto importante observado é que a movimentação causada no revestimento pela mudança de condição de exposição pode gerar conseqüências irreversíveis no revestimento.

A retração mais significativa observada nos ensaios foi produzida pela saída prematura de água da camada do revestimento, devido à evaporação intensa somada à absorção do substrato. Deve-se lembrar que a camada de revestimento constitui um elemento delgado, de elevada relação entre a área e o volume e normalmente com significativa parte dessa área exposta ao ambiente. Dessa forma, a condição severa de exposição adotada neste trabalho acelerou a movimentação do substrato e em alguns casos deixou mais evidente a interferência de outras variáveis. Por esses fatos observados, considerou-se essa variável como sendo uma das mais importantes na causa das movimentações da argamassa, responsável pelo aparecimento de fissuras superficiais e, colaboradora, com uma parcela significativa, para o descolamento do revestimento.

Por fim, compartilha-se a idéia de que o desempenho satisfatório dos revestimentos em argamassa, bem como de outros sistemas e sub-sistemas constituintes dos edifícios, passa pelo conhecimento e a perfeita assimilação conceitual dos mecanismos de ação que eventualmente podem se instalar, gerando os problemas patológicos e levando ao término da sua vida útil. Somente com o domínio satisfatório desses conhecimentos científicos e tecnológicos que interagem com o desempenho é que os profissionais ligados ao desenvolvimento de projetos e execução assumirão as melhores condutas e especificações técnicas, baseadas em aspectos preventivos, que levarão ao melhor desempenho e a maior durabilidade possível.

## **5.2 - SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS**

Com base no estudo aqui desenvolvido propõe-se a continuação da pesquisa aprofundando o estudo sobre os mecanismos de fissuração, descolamento e de retração que ocorre no revestimento à base de argamassa. Dessa forma, sugerem-se as seguintes abordagens listadas a seguir:

- \* implementação a partir dos dados obtidos nesta pesquisa de modelagens numéricas e computacionais que permitam simular a movimentação dimensional e o transporte de água dos revestimentos em argamassa, bem como, possíveis influências no desempenho de uso;

- \* acompanhamento da variação dimensional e do transporte de água nos momentos pós-aplicação de argamassas sobre painéis com diferentes tipos de base (estrutura de concreto – variação da classe de resistência à compressão, blocos de concreto e cerâmico) e preparo desses substratos, avaliando-se também a influência de juntas de movimentação na vida útil desses revestimentos submetidos a condições cíclicas extremas de exposição;

- \* acompanhamento de uma ou mais obras, através de instrumentação com sensores para avaliar a movimentação do revestimento, a temperatura, e o transporte de água da argamassa, levando-se em consideração a condição de exposição ao meio ambiente do sistema de revestimento;

\* estudo do preparo de superfícies de concretos através de práticas hoje comumente adotadas na construção civil, avaliando a aderência, dentre outros fatores que provocam descolamento e sua fissuração, e buscando métodos que minimizem esses fenômenos (emprego de novas técnicas);

\* estudo sobre a influência de argamassas especiais (com uso de fibras, adições minerais, polímeros e outros aditivos) no desempenho do sistema revestimento sujeitos a condições severas de exposição; e

\* estudo sobre a influência da movimentação cíclica (fadiga) causada pela variação climática, simulando períodos de seca e de chuvas encontrados nas principais regiões do País, empregando para isso, painéis com diferentes tipos de substratos revestidos com argamassas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addleson, L. (1992). *“Building failures: a guide to diagnosis remedy and prevention”*, Butterworth Architecture, Oxford.
- Aitcin, P.C. (2000). *Concreto de Alto Desempenho*, Pini, São Paulo.
- Aitcin, P.C.; Neville, A.M.; Acker, P. (1997). Integrated view of shrinkage deformation. *Concrete International*, p. 35-41.
- Almeida Dias, L. (2003). *Avaliação da Permeabilidade e da Absorção de Água de Revestimentos de Argamassa*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, 169p.
- Almeida Dias, L. e Carasek, H. (2003). “Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo.” In: *V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, Brasil, 543-555.
- Alves, N.J.D. (2002). *Avaliação dos Aditivos Incorporadores de Ar em Argamassa de Revestimento*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 174p.
- American Society for Testing and Materials. ASTM C-67-92a (1992). *Standard test methods of sampling and testing brick and structural clay tile*. Philadelphia, 1992.
- \_\_\_\_\_. ASTM C 780-96 (1996). *Standard Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry*. Philadelphia.
- \_\_\_\_\_. ASTM D 4648-00 (2003). *Standard Test Method for Laboratory Miniature Vane Shear Test for Saturated Fine-Grained Clayey Soil*. Philadelphia.
- Andrade, C.; Sarría, J. e Alonso, C. (1999). “Relative humidity in the interior of concrete exposed to natural and artificial weathering”. In: *Cement and Concrete Research*, v.29, 1249 – 1259
- Angelim, R.R. (2000). *Influência da Adição de Finos Calcários, Silicosos e Argilosos no Comportamento das Argamassas de Revestimento*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, 146p.
- Angelim, R.R.; Angelim, S.C.M. e Carasek, H. (2003). “Influência da adição de finos calcários, silicosos e argilosos nas propriedades das argamassas e dos revestimentos.” In: *V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, Brasil. 519-531.
- Araújo Jr, J.M. (2004). *Contribuição ao estudo das propriedades físico-mecânicas das argamassas de revestimento*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 175p.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7175 (2003). *Cal hidratada para argamassas - Requisitos*. Rio de Janeiro.

- \_\_\_\_\_. NBR 7200 (1998). Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 7217 (1987). Agregados – Determinação da Composição Granulométrica. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 7219 (1987). Agregados – Determinação do teor de materiais pulverulentos. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 7221 (1987). Agregados - Ensaio de qualidade de agregado miúdo. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 7224 (1984). Cal hidratada para argamassas – Determinação da superfície específica Blaine. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 7251 (1982). Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 9207 (2000). Cal hidratada para argamassas - Determinação da capacidade de incorporação de areia no plastômero de Voss. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 9287 (1986). Argamassa de assentamento para alvenaria de bloco de concreto - Determinação de retenção de água. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 9289 (2000). Cal hidratada para argamassas - Determinação da finura. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 9290 (1996). Cal hidratada para argamassas - Determinação de retenção de água. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 9479 (1994). Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 9776 (1987). Agregados - Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 9778 (2005). Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 9779 (1995). Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro
- \_\_\_\_\_. NBR 9935 (2005). Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 11578 (1991). Cimento Portland composto. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13276 (2005). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13277 (2005). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água. Rio de Janeiro.

- \_\_\_\_\_. NBR 13278 (2005). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro
- \_\_\_\_\_. NBR 13279 (2005). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13280 (2005). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa aparente no estado endurecido. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13281 (2005). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13528 (1995). Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13529 (1995). Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13530 (1995). Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13749 (1996). Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Classificação. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13749 (1996). Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 13753 (1996). Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 14399 (1999). Cal hidratada para argamassas - Determinação da água da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 15220-3 (2005). Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 15258 (2005). Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 15258 (2005). Argamassa para revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência potencial de aderência à tração. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 15259 (2005). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NBR 15261 (2005). Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da variação dimensional (retração ou expansão linear). Rio de Janeiro.

- \_\_\_\_\_. NM 1 (1997). Argamassa e concreto - Água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro.
- \_\_\_\_\_. NM9 (2003). Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração. Rio de Janeiro.
- Baía, L.L.M. e Sabbatini, F.H. (2004). Projeto e execução de revestimento de argamassa. O Nome da Rosa, São Paulo.
- Baroghel-Bouny, V. (1994) Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons. Paris, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
- Baroghel-Bouny, V.; Mainguy, M.; Lassabatere, T.; e Coussy, O. (1999). Characterization and identification of equilibrium and transfer moisture properties for ordinary and high-performance cementitious materials. *Cement and Concrete Research*, 29(8), 1225-1238.
- Bastos, P.K.X. (2001). Retração e Desenvolvimento de Propriedades Mecânicas de Argamassas Mistas de Revestimento, Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 172p.
- Bauer, E. (2000). “Análise da fissuração de argamassa para revestimento de fachadas”. *Relatório Técnico*, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília.
- Bauer, E. (2002). “Estudo do descolamento de argamassa de revestimento”. *Relatório Técnico*, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília.
- Bauer, E e Carasek, H. (1997). “Argamassas de revestimento”, In: 1º Curso de tecnologia das construções, Goiânia, Brasil.
- Bauer, E.; Santos, C.C.N.; Moraes, D.M. e Pereira, C.H.A.F. (2005). Avaliação da consistência das argamassas industrializadas projetadas utilizando o método vane. In: e-Mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil, vol. 2, n. 1, 54-63, Maio.
- Bauer, E. e Sousa, J.G.G. (2005). “Materiais Constituintes e Suas Funções”, Revestimentos de Argamassa: características e peculiaridades, ed. UnB/Sinduscon-DF, cap.2, 25-36.
- Bauer, E.; Sousa, J.G.G. e Guimarães, E.A. (2005). “Estudo da consistência de argamassas pelo método de penetração estática de cone.” In: *VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Florianópolis, Brasil. 95-105.
- Bentur, A. (2002). Terminology and definitions, Early Age Cracking in Cementitious Systems, Rilen Report 25, France.
- Bentur, A.; Berger, R.L.; Lawrence Jr., F.V.; Milestone, N.B. (1979). Creep and drying shrinkage of calcium silicate pastes III – A hypothesis of irreversible strains. *Cement and Concrete Research*, v. 9, 83-96.
- Bonin, L.C. (2005). “Considerações sobre a elaboração de um vocabulário controlado para a tecnologia de argamassas.” In: *VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Florianópolis, Brasil. 795-846.

- Bonin, L.C.; Cincotto, M.A. e Carneiro, A.M.P. (1997). “Propostas conceituais que fundamentaram o texto do projeto de norma - revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – execução.” In: *II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Salvador, Brasil. 397-409.
- Brocken, H.J.P.; Spiekman, M.E.; Pel, L.; Kopinga, K.; e Larbi, J.A. (1998). Water extraction out of mortar during brick laying: A NMR study. *Matériaux et Constructions*, vol.31, 49-57.
- Building Research Establishment (BRE). (1979). Estimation of thermal and moisture movements and stress. *Garston, digest 228, part2*.
- Candia, M.C. (1998). Contribuição ao Estudo das Técnicas de Preparo da Base no Desempenho dos Revestimentos de Argamassa, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 262p.
- Carasek, H. (1996). Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Substratos Porosos – Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo da Ligação, Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 285p.
- Carasek, H.; Cascudo, O. e Santos, P.F. (1995a). Avaliação de revestimentos em argamassa contendo saibros Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: *I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Goiânia, Brasil. 247-260.
- Carasek, H.; Cascudo, O. e Santos, P.F. (1995b). Estudo do comportamento de argamassas de assentamento contendo saibro. In: *I Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Goiânia, Brasil. 153-1640.
- Carasek, H.; Cascudo, O. e Scartzini, L.M.B. (2001). Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: *IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Brasília, Brasil. 43-67.
- Carasek, H.; Cascudo, O. e Jucá, T. (2005). “Estudo de casos de descolamento de revestimento de argamassa aplicado sobre estrutura de concreto.” In: *VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Florianópolis, Brasil. 551-561.
- Carasek, H. e Djanikian, O. (1993). “Avaliação da trabalhabilidade de argamassas para assentamento e revestimento.” In: *III Congresso Brasileiro do Cimento*, São Paulo, Brasil. 407-426.
- Carneiro, A. M. P. (1999). Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 170p.
- Carvalho, A. (2004). Avaliação em obra da permeabilidade e absorção de água e da resistência de aderência de revestimentos de argamassa aplicados em estruturas de concreto armado, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, 202p.



- Ceotto, L.H.; Frigieri, V. e Nakakura, E. H. (2003). “CASE INPAR - A implantação de uma inovação.” In: *V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, Brasil. 119-128.
- Cincotto, M.A; Silva, M.A. e Carasek, H. (1995). “*Argamassas de revestimento: propriedades, características e métodos de ensaios.*” IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo.
- Cortez, I.M.M. (1999). Contribuição ao Estudo dos Sistemas de Revestimento com a Incorporação de Fibras Sintéticas, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 196p.
- Cunha, E.H.; Guimarães, G. N. e CARASEK, H (2001). Influência do tipo de argamassa na resistência à compressão da alvenaria estrutural. In: *IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. Brasília, Brasil. 397-408.
- Dąbrowski, A. (2001). “Adsorption – from theory to practice”. *Advances in Colloid and Interface Science*, ed. Elsevier, 136-224.
- Dal Molin, D.C.C. (1998). Fissuras em Estruturas de Concreto Armado. Análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 199p.
- Davison, J.I. (1961). Loss of moisture from fresh mortars to bricks. *Materials Research & Standards*. vol. 1, nº. 5, 385-388.
- De Larrart, F. (1999). Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach. Modern Concrete Technology Series, vol. 9, (ed) E&FN SPON, London.
- Détriché, C.H. (1977). Contribution à l’étude des déformations des couches minces de mortiers de liants hydrauliques, Tese de doutorado, Université Paul Sabatier de Toulouse, 247p.
- Détriché, C.H. (1983). Contribution à l’étude du comportement des couches minces de mortiers de liants hydrauliques – applications aux enduits, Tese de doutorado, Université Paul Sabatier de Toulouse, 202p.
- Détriché, C.H.; Gallias, J.L.; Grandet, J. e Maso, J.C. (1981). “Influence de la succion des supports poreux sur la prise et la résistance au cisaillement des mortiers moulés à leur contact.” In: *Matériaux et Constructions*, 80 (14), 91-102.
- Détriché, C.H.; Grandet, J. e Maso, J.C. (1983). “Desiccation des mortiers d’enduit.” In: *Matériaux et Constructions*, 94 (16).
- Détriché, C.H.; Gallias, J.L.; Grandet, J. e Maso, J.C. (1985). Influence des paramètres de mise en oeuvre et de composition sur le comportement des mortiers d’enduit. In: *Matériaux et Constructions*, vol.18(105), 193-200.
- Détriché, C.H.; Maso, J.C. (1986). “Differential hydration in rendering mortars”. In: *Cement and Concrete Research*, vol.16, 429-439.

- Do Ó, S.W. (2004). *Análise da Retenção de Água em Argamassas de Revestimento Aditivadas*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 173p.
- Fiorito, J.S.I. (1994). “*Manual de argamassas e revestimentos*”. Pini, São Paulo.
- Fredlund, D.G.; Rahardjo, H. (1993). *Soil mechanics for unsaturated soils*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, INC.
- Freitas, V. (1992). *Transferência de umidade em paredes de edifícios – Análise do fenômeno de interface*. Tese de Doutorado, Universidade do Porto, 200p.
- Gagné, R.; Aouad, I.; Shen, J.; e Poulin, C. (1999). Development of a new experimental technique for the study of the autogenous shrinkage of cement paste. *Materials and Structures*, v. 32, 635-642.
- Gonçalves, S.R.C. (2004). *Variabilidade e fatores de dispersão da resistência de aderência nos revestimentos em argamassa*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 148p.
- Groot, C.J.W.P. (1988). Aspects of mortar-brick bond. In: *8th International Brick and Block Masonry Conference*, Dublin, vol.1, 175-181.
- Groot, C.J.W.P. (1993). “Effects of water on mortar – brick bond.” Technische University Delft.
- Hall, C. (1977). Water movement in porous building materials – I. Unsaturated flow theory and its applications. In: *Building and Environment*, vol. 12, p. 117-125.
- Hall, C. (1989). Water sorptivity of mortars and concretes: a review. In: *Magazine of Concrete Research*, vol. 41(147), 51-61.
- Hall, C.; Hoff, W.D. e Nixon, M.R. (1980). Water movement in porous building materials – VI. Evaporation and drying in brick and block materials. In: *Building and Environment*, vol. 19, 13-20.
- Han, K.M. e Kishitani, K. (1984). A study on the bond strength of brick masonry mortars. In: *Journal of the Faculty of Engineering*. The University of Tokyo, v.37(4), 757-798.
- Jastrzebski, Z.D. (1977). *The nature and properties of engineering materials*. John Wiley & Sons, New York.
- Joisel, A. (1981). “*Fisuras e grietas en morteros e hormigones - sus causas e remedios.*” Editores Técnicos Asociados, Barcelona.
- Kopschitz, P.; Francinete Jr., P.; Cincotto, M.A. e John, V.M. (1997). Estudo da retração e do desenvolvimento de propriedades mecânicas de argamassas mistas para revestimento. In: *II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Salvador, Brasil. 120-132.
- Lawrence, S.J. e Cao, H.T. (1987). An experimental study of the interface brick and mortar. In: *4th North American Masonry Conference*, Los Angeles, 48:1-14.

- Leal, F.E.C.B. (2003) Estudo do desempenho do chapisco como procedimento de prevenção de base em sistemas de revestimento. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 109p.
- Lejeune, C. (1985). “Les enduits d’impermeabilisation à base de liants hydrauliques.” In: *Revue Technique du Bâtiment et des Constructions Industrielles*, 88 (jan.-fév.).
- Medeiros, J.S. e Sabbatini, F.H. (1994). “Estudo sobre a técnica executiva de revestimento de argamassa sobre paredes de alvenaria.” In: *5th international Seminar Structural Masonry for Developing Countries*, Florianópolis, Brasil.
- Mehta, P.K. e Monteiro, P.J.M. (1994). Concreto: estrutura, propriedades e materiais. Pini, São Paulo.
- Moore, W.J. (1976). Físico-Química. Edgard Blücher, São Paulo.
- Nascimento, O.L.; Reis, R.J.P.; Costa, T.R. (2003). Metodologia simplificada para avaliação de aderência em argamassa de revestimento sobre estrutura de concreto armado em canteiros-de-obras. In: *V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, Brasil. 723-724.
- Nascimento, O.L.; Mansur, A.A.P.; Ribeiro, A.B. Mansur, H.S. (2005). Estudo da influência de aditivo adesivo e de tipos de cimento na aderência chapisco em base de concreto. In: *VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, Florianópolis, Brasil. 497-507.
- Nguyen, N. Q. e Boger, D.V. (1985). “Direct yield stress measurement with the vane method.” In: *Journal of Rheology*, vol.29 (3), 335-347.
- Oliveira, J.A.C. (1999) Contribuição ao Estudo do Comportamento Mecânico dos Sistemas de Revestimento à Base de Argamassa Modificados com Polímeros de Base Látex, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 189p.
- Paes, I.N.L. (2004). Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação, Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 242p.
- Paes, I.N.L.; Souza, J.G. e Bauer, E. (2003). Desenvolvimento de sensores de umidade interna para utilização em revestimentos de argamassa. Norma Interna de Trabalho N°02. Universidade de Brasília. Laboratório de Ensaio de Materiais da UnB.
- Pereira, P.C. (2000). Influência da cura no desempenho de revestimentos produzidos com argamassas inorgânicas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, 182p.
- Prevedello, C.L. (1996). Física do solo com problemas resolvidos. Solesward Consultoria e Vendas. Curitiba.
- Santos, C.C.N. (2003). Critérios de Projetabilidade para as Argamassas Industrializadas de Revestimento Utilizando Bomba de Argamassa com Eixo Helicoidal. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 138p.

- Saraiva, A.G. (1998). Contribuição ao Estudo de Tensões de Natureza Térmica em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachada, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 164p.
- Sato, N.M.N. (1998). Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 163p.
- Scartezini, L.M.B. (2002). 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 da Argamassa Fresca, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, 262p.
- Scartezini, L.M.B. e Carasek (2003). “Fatores que exercem influência na resistência de aderência à tração dos revestimentos de argamassa.” In: *IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, Brasil. 545-557.
- Selmo, S.M.S. (1989). Dosagem de Argamassas de Cimento Portland e Cal para Revestimento Externo dos Edifícios, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 187p.
- Selmo, S.M.S. (1996). Revestimento de argamassas de paredes e tetos de edifícios – Projeto, Execução e Manutenção, Associação Brasileira de Cimentos Portland.
- Sousa, J.G.G. (2005). Contribuição ao Estudo das Propriedades das Argamassas de Revestimento no Estado Fresco, Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 233p.
- Taylor, H.F.W. (1992). *Cement Chemistry*. 2.ed. San Diego, Academic Press.
- Tristão, F.A. (1995). Influência da Composição Granulométrica da Areia nas Propriedades das Argamassas de Revestimento, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 188p.
- Thomaz, E. (1989). *Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação*. Pini, São Paulo.
- Uchôa, J.C.B. (2007). Procedimento Numérico e Experimental para a Avaliação da Resistência à Fadiga em Sistema de Revestimento, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 158p.
- Veiga, M.R. (1997). Comportamento de argamassas de revestimento de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 173p.
- Veiga, M.R. (2003). “Comportamento de argamassas de revestimento de paredes.” In: *V Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*, São Paulo, Brasil. 63-93.
- Yazigi, W. (2004). *A técnica de Edificar*, Pini, São Paulo.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DO CHAPISCO INDUSTRIALIZADO

O chapisco industrializado utilizado nesta pesquisa foi o Votomassa chapisco colante, proveniente de um mesmo lote, produzido pela Votorantim Cimentos, e adquirido no mercado local em embalagens de 20 kg.

Tabela 1 – Dados técnicos do chapisco industrializado empregada.

| Dados técnicos                    |                         |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Classificação ABNT NBR 13281:2001 | III – alta - C          |
| Densidade Aparente                | 1,5 1,6 kg/l            |
| Densidade Fresca                  | 1,7 a 1,8 kg/l          |
| Rest. Compressão (28 dias)        | 12 a 14 MPa             |
| Rest. Flexão (28 dias)            | 3 a 4 MPa               |
| Rest. Tração (28 dias)            | > 0,3 MPa               |
| Ret. Água                         | > 98%                   |
| Teor de Ar Incorporado.           | 19 a 21%                |
| Rendimento                        | 3 a 4 kg/m <sup>2</sup> |

Dados fornecidos pelo fabricante

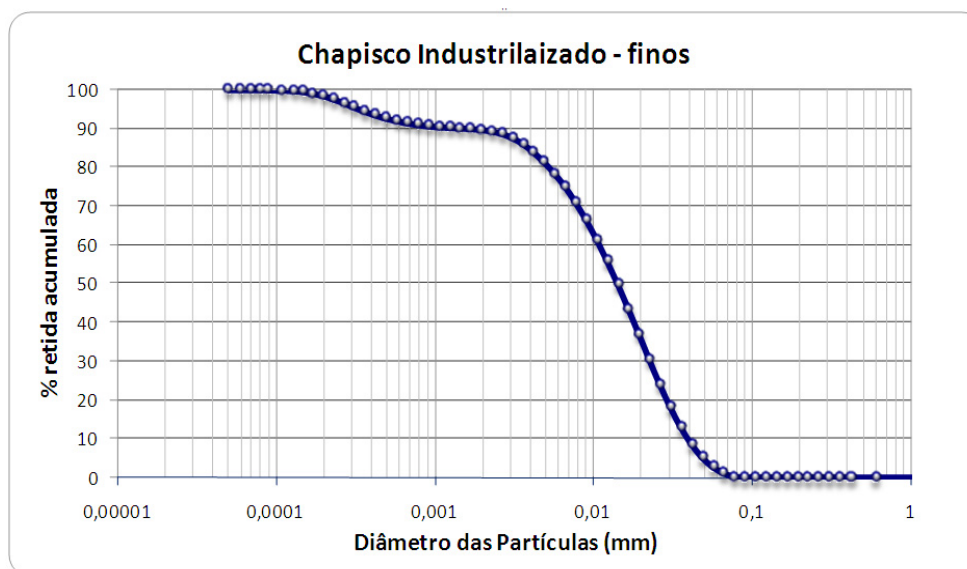


Figura 1 – Caracterização granulométrica da fração do chapisco industrializado passante na peneira com abertura de malha 150  $\mu$ m por meio de granulômetro a laser.

## APÊNDICE B – CARACTERIZAÇÃO DA AREIA USADA NA PREPARAÇÃO DO CHAPISCO CONVENCIONAL

Como agregado miúdo natural utilizou-se uma areia lavada proveniente de depósito aluvial do Rio Corumbá, em Goiás, sendo adquirida no comércio local de Brasília-DF. Essa areia passou por processo de secagem em estufa e apenas o material passante na peneira com abertura de malha 3,36 mm foi utilizado na confecção do chapisco.

Tabela 1 - Distribuição granulométrica do agregado empregado na execução do chapisco convencional.

| Peneiras com abertura de malha (ABNT NBR ISO 3310-1) | Porcentagem, em massa, retida acumulada |
|--|---|
| 2,36 mm  | 18                                      |
| 1,18 mm  | 43                                      |
| 600 µm   | 63                                      |
| 300 µm   | 83                                      |
| 150 µm   | 93                                      |

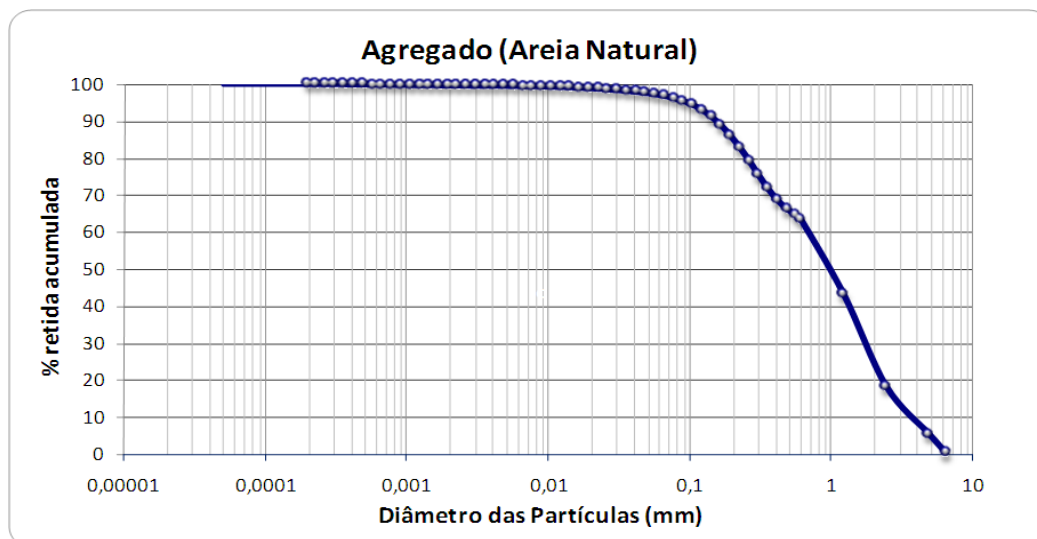


Figura 1 – Caracterização granulométrica do agregado utilizado no chapisco convencional.

## APÊNDICE C – TABELAS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS ARGAMASSAS – ANBT NBR 13281:2005

Tabela 1 – Resistência à compressão (ABNT NBR 13281:2005).

| Classe | Resistência à compressão (MPa) | Método de ensaio |
|--------|--------------------------------|------------------|
| P1     | ≤ 2,0                          | ABNT NBR 13279   |
| P2     | 1,5 a 3,0                      |                  |
| P3     | 2,5 a 4,5                      |                  |
| P4     | 4,0 a 6,5                      |                  |
| P5     | 5,5 a 9,0                      |                  |
| P6     | > 8,0                          |                  |

Tabela 2 – Densidade de massa aparente no estado endurecido (ABNT NBR 13281:2005).

| Classe | Densidade de massa aparente no estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> ) | Método de ensaio |
|--------|---|------------------|
| M1     | ≤ 1200  | ABNT NBR 13280   |
| M2     | 1000 a 1400   |                  |
| M3     | 1200 a 1600   |                  |
| M4     | 1400 a 1800   |                  |
| M5     | 1600 a 2000   |                  |
| M6     | > 1800  |                  |

Tabela 3 – Resistência à tração na flexão (ABNT NBR 13281:2005).

| Classe | Resistência à tração na flexão (MPa) | Método de ensaio |
|--------|--------------------------------------|------------------|
| R1     | ≤ 1,5                                | ABNT NBR 13279   |
| R2     | 1,0 a 2,0                            |                  |
| R3     | 1,5 a 2,7                            |                  |
| R4     | 2,0 a 3,5                            |                  |
| R5     | 2,7 a 4,5                            |                  |
| R6     | > 3,5                                |                  |



Tabela 4 – Coeficiente de capilaridade (ABNT NBR 13281:2005).

| Classe | Coeficiente de capilaridade<br>(g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ) | Método de ensaio |
|--------|---|------------------|
| C1     | ≤ 1,5   | ABNT NBR 15259   |
| C2     | 1,0 a 2,5   |                  |
| C3     | 2,0 a 4,0   |                  |
| C4     | 3,0 a 7,0   |                  |
| C5     | 5,0 a 12,0  |                  |
| C6     | > 10,0  |                  |

Tabela 5 – Densidade de massa no estado fresco (ABNT NBR 13281:2005).

| Classe | Densidade de massa no<br>estado fresco<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Método de ensaio |
|--------|--|------------------|
| D1     | ≤ 1400   | ABNT NBR 13278   |
| D2     | 1200 a 1600  |                  |
| D3     | 1400 a 1800  |                  |
| D4     | 1600 a 2000  |                  |
| D5     | 1800 a 2200  |                  |
| D6     | > 2000   |                  |

Tabela 6 – Retenção de água (ABNT NBR 13281:2005).

| Classe | Retenção de água<br>(%) | Método de ensaio |
|--------|-------------------------|------------------|
| U1     | ≤ 78                    | ABNT NBR 13277   |
| U2     | 72 a 85                 |                  |
| U3     | 80 a 90                 |                  |
| U4     | 86 a 94                 |                  |
| U5     | 91 a 97                 |                  |
| U6     | 95 a 100                |                  |

Tabela 7 – Resistência potencial de aderência à tração (ABNT NBR 13281:2005).

| Classe | Resistência potencial de<br>aderência à tração<br>(MPa) | Método de ensaio |
|--------|---|------------------|
| A1     | < 0,20  | ABNT NBR 15258   |
| A3     | ≥ 0,20  |                  |
| A6     | ≥ 0,30  |                  |

## APÊNDICE D – RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DAS ARGAMASSAS

Tabela 1 – Resistência à compressão, 28 dias (ABNT NBR 13279:2005).

| Argamassa | Amostra (1)<br>(MPa) |      | Amostra (2)<br>(MPa) |      | Amostra (3)<br>(MPa) |      | Média<br>(MPa) | DP   |
|-----------|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|------|----------------|------|
|           | A                    | B    | A                    | B    | A                    | B    |                |      |
| AME6      | 3,19                 | 3,39 | 3,5                  | 3,22 | 3,32                 | 3,45 | 3,3            | 0,12 |
| AME6H     | 2,94                 | 2,64 | 2,85                 | 2,59 | 2,52                 | 2,58 | 2,7            | 0,17 |
| AME12     | 2,44                 | 2,10 | 2,19                 | 2,08 | 2,18                 | 2,21 | 2,2            | 0,13 |
| AI        | 4,74                 | 4,85 | 4,81                 | 4,78 | 4,81                 | 4,75 | 4,8            | 0,04 |

Tabela 2 – Densidade de massa aparente no estado endurecido (ABNT NBR 13280:2005).

| Argamassa | Amostra (1)<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Amostra (2)<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Amostra (3)<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Média<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | DP   |
|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|------|
| AME6      | 1811,2                              | 1813,0                              | 1786,5                              | 1804                          | 14,8 |
| AME6H     | 1785,0                              | 1805,2                              | 1790,4                              | 1794                          | 10,4 |
| AME12     | 1796,0                              | 1788,8                              | 1782,6                              | 1789                          | 6,7  |
| AI        | 1757,5                              | 1761,2                              | 1751,8                              | 1757                          | 4,7  |

Tabela 3 – Resistência à tração na flexão (ABNT NBR 13279:2005).

| Argamassa | Amostra (1)<br>(MPa) | Amostra (2)<br>(MPa) | Amostra (3)<br>(MPa) | Média<br>(MPa) | DP   |
|-----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------|------|
| AME6      | 1,38                 | 1,43                 | 1,42                 | 1,4            | 0,03 |
| AME6H     | 0,89                 | 0,96                 | 0,86                 | 0,9            | 0,05 |
| AME12     | 0,86                 | 0,80                 | 0,81                 | 0,8            | 0,03 |
| AI        | 1,62                 | 1,60                 | 1,64                 | 1,6            | 0,01 |

Tabela 4 – Coeficiente de capilaridade (ABNT NBR 15259:2005).

| Argamassa | Amostra (1)<br>(g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ) | Amostra (2)<br>(g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ) | Amostra (3)<br>(g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ) | Média<br>(g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ) | DP   |
|-----------|---|---|---|---|------|
| AME6      | 1,5   | 1,4   | 1,5   | 1,5   | 0,08 |
| AME6H     | 1,6   | 1,6   | 1,4   | 1,5   | 0,11 |
| AME12     | 1,8   | 1,7   | 1,7   | 1,7   | 0,07 |
| AI        | 0,9   | 0,9   | 0,9   | 0,9   | 0,04 |

Tabela 5 – Densidade de massa aparente no estado fresco (ABNT NBR 13278:2005).

| <b>Argamassa</b> | <b>Amostra (1)<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Amostra (2)<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Amostra (3)<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Média<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>DP</b> |
|------------------|---|---|---|-------------------------------------|-----------|
| AME6             | 1927                                      | 1937                                      | 1928                                      | 1931                                | 5,1       |
| AME6H            | 1922                                      | 1927                                      | 1920                                      | 1923                                | 3,5       |
| AME12            | 1917                                      | 1925                                      | 1917                                      | 1920                                | 4,6       |
| AI               | 1790                                      | 1782                                      | 1791                                      | 1788                                | 4,7       |

Tabela 6 – Retenção de água (ABNT NBR 13277:2005).

| <b>Argamassa</b> | <b>Amostra (1)<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Amostra (2)<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Amostra (3)<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Média<br/>(kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>DP</b> |
|------------------|---|---|---|-------------------------------------|-----------|
| AME6             | 70  | 72  | 71  | 71                                  | 1,3       |
| AME6H            | 68  | 68  | 66  | 67                                  | 1,5       |
| AME12            | 70  | 72  | 71  | 71                                  | 1,1       |
| AI               | 72  | 71  | 72  | 72                                  | 0,8       |

## APÊNDICE E – RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS EM ARGAMASSA.

A Figura 1 apresenta os tipos de rupturas apresentados na ABNT NBR 13528:1995 Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração.

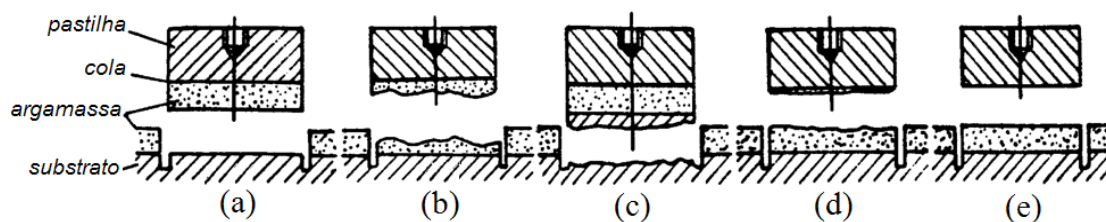


Figura 1 - Tipos de rupturas obtidas na determinação de resistência de aderência (ABNT NBR 13528:1995).

Onde:

- (a) ruptura na interface argamassa/substrato;
- (b) ruptura no interior da argamassa de revestimento;
- (c) ruptura no substrato;
- (d) ruptura na interface revestimento/cola;
- (e) ruptura na interface cola/pastilha metálica.

Tabela 1 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração da Argamassa Mista E6 aplicada no substrato padrão - SP.AME6.

| CP<br>nº. | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)  |   |   |   |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|-----------|--------------|------------------|-----------------|---|---|---|---|---|-------------------|
|           |              |                  |                 | A   | B | C | D | E |                   |
| 1         | 557          | 50               | 0,28            | 100   |   |   |   |   | 13                |
| 2         | 619          | 50               | 0,32            | 100   |   |   |   |   | 25                |
| 3         | 281          | 50               | 0,14            | 100   |   |   |   |   | 4                 |
| 4         | 578          | 50               | 0,29            | 100   |   |   |   |   | 9                 |
| 5         | 603          | 50               | 0,31            | 100   |   |   |   |   | 11                |
| 6*        | 235          | 50               | 0,12            | 100   |   |   |   |   | 4                 |
| 7         | 513          | 50               | 0,26            | 100   |   |   |   |   | 25                |
| 8         | 593          | 50               | 0,30            | 95  | 5 |   |   |   | 25                |
| 9         | 367          | 50               | 0,19            | 100   |   |   |   |   | 2                 |
| 10        | 495          | 50               | 0,25            | 100   |   |   |   |   | 12                |
| média     |              | 0,26             |                 | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |   |   |   |   |                   |
| DP        |              | 0,06             |                 |   |   |   |   |   |                   |
| CV(%)     |              | 23               |                 |   |   |   |   |   |                   |

Tabela 2 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração da Argamassa Industrializada aplicada no substrato padrão - SP.AI.

| CP<br>nº. | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)   |    |   |   |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|-----------|--------------|------------------|-----------------|--|----|---|---|---|-------------------|
|           |              |                  |                 | A  | B  | C | D | E |                   |
| 1         | 511          | 50               | 0,26            | 100  |    |   |   |   | 9                 |
| 2         | 626          | 50               | 0,32            | 100  |    |   |   |   | 12                |
| 3         | 603          | 50               | 0,31            | 90   | 10 |   |   |   | 25                |
| 4         | 329          | 50               | 0,17            | 100  |    |   |   |   | 3                 |
| 5*        | 108          | 50               | 0,06            | 100  |    |   |   |   | 25                |
| 6         | 592          | 50               | 0,30            | 95   | 5  |   |   |   | 25                |
| 7         | 612          | 50               | 0,31            | 100  |    |   |   |   | 3                 |
| 8*        | 157          | 50               | 0,08            | 100  |    |   |   |   | 25                |
| 9         | 601          | 50               | 0,31            | 100  |    |   |   |   | 25                |
| 10        | 535          | 50               | 0,27            | 95   | 5  |   |   |   | 25                |
| média     |              |                  | 0,28            | observações<br>(* valor não considerado para o cálculo da média) |    |   |   |   |                   |
| DP        |              |                  | 0,05            |  |    |   |   |   |                   |
| CV(%)     |              |                  | 18              |  |    |   |   |   |                   |

Tabela 3 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração do Chapisco Convencional aplicado no substrato padrão - SP.CC.

| CP<br>nº. | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%) |    |   |   |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|-----------|--------------|------------------|-----------------|----------------------|----|---|---|---|-------------------|
|           |              |                  |                 | A                    | B  | C | D | E |                   |
| 1         | 675          | 50               | 0,34            | 15                   | 85 |   |   |   | 3                 |
| 2         | 548          | 50               | 0,28            | 100                  |    |   |   |   | 5                 |
| 3         | 464          | 50               | 0,24            | 100                  |    |   |   |   | 5                 |
| 4         | 643          | 50               | 0,33            | 100                  |    |   |   |   | 2                 |
| 5         | 735          | 50               | 0,37            | 100                  |    |   |   |   | 5                 |
| média     |              |                  | 0,31            | observações          |    |   |   |   |                   |
| DP        |              |                  | 0,05            |                      |    |   |   |   |                   |
| CV(%)     |              |                  | 18              |                      |    |   |   |   |                   |

Tabela 4 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração do Chapisco Industrializado aplicado no substrato padrão - SP.CI.

| CP<br>nº. | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%) |    |   |   |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|-----------|--------------|------------------|-----------------|----------------------|----|---|---|---|-------------------|
|           |              |                  |                 | A                    | B  | C | D | E |                   |
| 1         | 569          | 50               | 0,29            | 100                  |    |   |   |   | 4                 |
| 2         | 702          | 50               | 0,36            | 100                  |    |   |   |   | 4                 |
| 3         | 664          | 50               | 0,34            | 100                  |    |   |   |   | 3                 |
| 4         | 493          | 50               | 0,25            | 20                   | 80 |   |   |   | 5                 |
| 5         | 761          | 50               | 0,39            | 100                  |    |   |   |   | 3                 |
| média     |              |                  | 0,32            | observações          |    |   |   |   |                   |
| DP        |              |                  | 0,05            |                      |    |   |   |   |                   |
| CV(%)     |              |                  | 17              |                      |    |   |   |   |                   |

Tabela 5 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração do Chapisco Convencional aplicado na placa de concreto - PC.CC\_Lab.

| CP       | CARGA | DIÂMETRO | TENSÃO | FORMA DE RUPTURA (%)   |     |      |       |   | ESPESSURA |
|----------|-------|----------|--------|--|-----|------|-------|---|-----------|
|          |       |          |        | nº.  | (N) | (mm) | (MPa) | A |           |
| 1        | 489   | 50       | 0,25   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| 2        | 371   | 50       | 0,19   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| 3        | 523   | 50       | 0,27   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| 4        | 414   | 50       | 0,21   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| centro   | 475   | 50       | 0,24   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| *Superf. | 521   | 50       | 0,27   | 100  |     |      |       |   | 1         |
| média    |       |          | 0,23   | observações<br>(* valor não considerado para o cálculo da média) |     |      |       |   |           |
| DP       |       |          | 0,03   |  |     |      |       |   |           |
| CV(%)    |       |          | 13     |  |     |      |       |   |           |

Tabela 6 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração do Chapisco Industrializado aplicado na placa de concreto - PC.CI\_Lab.

| CP       | CARGA | DIÂMETRO | TENSÃO | FORMA DE RUPTURA (%)   |     |      |       |   | ESPESSURA |
|----------|-------|----------|--------|--|-----|------|-------|---|-----------|
|          |       |          |        | nº.  | (N) | (mm) | (MPa) | A |           |
| 1        | 515   | 50       | 0,26   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| 2        | 488   | 50       | 0,25   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| 3        | 491   | 50       | 0,25   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| 4        | 443   | 50       | 0,23   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| centro   | 475   | 50       | 0,24   | 100  |     |      |       |   | 5         |
| *Superf. | 503   | 50       | 0,26   | 100  |     |      |       |   | 1         |
| média    |       |          | 0,25   | observações<br>(* valor não considerado para o cálculo da média) |     |      |       |   |           |
| DP       |       |          | 0,03   |  |     |      |       |   |           |
| CV(%)    |       |          | 11     |  |     |      |       |   |           |

As Tabelas 7 e 8 apresentam a classificação dos tipos de rupturas adotados nos resultados dos ensaios de determinação de resistência de aderência dos revestimentos.

Tabela 7 – Classificação do tipo de ruptura para as séries sem chapisco (SC).

| Forma de Ruptura | Local da Ruptura                  |
|------------------|-----------------------------------|
| Tipo A           | Substrato                         |
| Tipo B           | Interface substrato/argamassa     |
| Tipo C           | Argamassa de revestimento         |
| Tipo D           | Falha na colagem da peça metálica |

Tabela 8 – Classificação do tipo de ruptura para as séries com chapisco (CI e CC).

| Forma de Ruptura | Local da Ruptura                  |
|------------------|-----------------------------------|
| Tipo A           | Substrato                         |
| Tipo B           | Interface substrato/chapisco      |
| Tipo C           | Chapisco                          |
| Tipo D           | Interface chapisco/argamassa      |
| Tipo E           | Argamassa de revestimento         |
| Tipo F           | Falha na colagem da peça metálica |

Tabela 9 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - SC.AME6.30\_Lab.

| CP<br>nº. | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)  |   |   |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|-----------|--------------|------------------|-----------------|---|---|---|---|-------------------|
|           |              |                  |                 | A   | B | C | D |                   |
| 1         | 42           | 50               | 0,02            | 100   |   |   |   | 30                |
| 2         | 13           | 50               | 0,01            | 100   |   |   |   | 30                |
| 3         | 29           | 50               | 0,01            | 100   |   |   |   | 30                |
| 4         | 125          | 50               | 0,06            | 100   |   |   |   | 30                |
| centro    | 32           | 50               | 0,02            | 100   |   |   |   | 30                |
| *Superf.  | 418          | 50               | 0,21            | 100   |   |   |   | 1                 |
| média     |              |                  | 0,02            | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |   |   |   |                   |
| DP        |              |                  | 0,02            |   |   |   |   |                   |
| CV(%)     |              |                  | 92              |   |   |   |   |                   |

Tabela 10 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CI.AME6.30\_Lab.

| CP<br>nº. | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)  |   |    |   |   |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|-----------|--------------|------------------|-----------------|---|---|----|---|---|---|-------------------|
|           |              |                  |                 | A   | B | C  | D | E | F |                   |
| 1         | 486          | 50               | 0,25            | 100   |   |    |   |   |   | 3                 |
| 2         | 173          | 50               | 0,09            | 5   |   | 95 |   |   |   | 28                |
| 3         | 393          | 50               | 0,20            | 100   |   |    |   |   |   | 26                |
| 4         | 459          | 50               | 0,23            | 100   |   |    |   |   |   | 3                 |
| centro    | 348          | 50               | 0,18            | 100   |   |    |   |   |   | 28                |
| *Superf.  | 461          | 50               | 0,23            | 100   |   |    |   |   |   | 1                 |
| média     |              |                  | 0,19            | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |   |    |   |   |   |                   |
| DP        |              |                  | 0,06            |   |   |    |   |   |   |                   |
| CV(%)     |              |                  | 33              |   |   |    |   |   |   |                   |

Tabela 11 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CC.AME6.30\_Lab.

| CP       | CARGA | DIÂMETRO | TENSÃO | FORMA DE RUPTURA (%)   |     |      |       |   |   | ESPESSURA |   |    |
|----------|-------|----------|--------|--|-----|------|-------|---|---|-----------|---|----|
|          |       |          |        | nº.  | (N) | (mm) | (MPa) | A | B |           | C | D  |
| 1        | 394   | 50       | 0,20   |  |     |      |       |   |   | 100       |   | 16 |
| 2        | 183   | 50       | 0,09   |  |     |      |       |   |   | 100       |   | 28 |
| 3        | 281   | 50       | 0,14   |  |     |      |       |   |   | 100       |   | 27 |
| 4        | 495   | 50       | 0,25   |  |     |      |       |   |   | 100       |   | 3  |
| centro   | 479   | 50       | 0,24   |  |     |      |       |   |   | 100       |   | 2  |
| *Superf. | 466   | 50       | 0,24   |  |     |      |       |   |   | 100       |   | 1  |
| média    |       |          | 0,19   | observações<br>(* valor não considerado para o cálculo da média) |     |      |       |   |   |           |   |    |
| DP       |       |          | 0,07   |  |     |      |       |   |   |           |   |    |
| CV(%)    |       |          | 36     |  |     |      |       |   |   |           |   |    |

Tabela 12 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - SC.AI.30\_Sev.

| CP       | CARGA | DIÂMETRO | TENSÃO | FORMA DE RUPTURA (%)   |     |      |       | ESPESSURA |   |   |    |
|----------|-------|----------|--------|--|-----|------|-------|-----------|---|---|----|
|          |       |          |        | nº.  | (N) | (mm) | (MPa) |           | A | B | C  |
| 1        | -     | 50       | 0,00   |  |     |      |       | 100       |   |   | 30 |
| 2        | -     | 50       | 0,00   |  |     |      |       | 100       |   |   | 30 |
| 3        | -     | 50       | 0,00   |  |     |      |       | 100       |   |   | 30 |
| 4        | -     | 50       | 0,00   |  |     |      |       | 100       |   |   | 30 |
| centro   | -     | 50       | 0,00   |  |     |      |       | 100       |   |   | 30 |
| *Superf. | 94    | 50       | 0,05   |  |     |      |       | 100       |   |   | 1  |
| média    |       |          | 0,00   | observações<br>(* valor não considerado para o cálculo da média) |     |      |       |           |   |   |    |
| DP       |       |          | -      |  |     |      |       |           |   |   |    |
| CV(%)    |       |          | -      |  |     |      |       |           |   |   |    |

Tabela 13 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CI.AI.30\_Sev.

| CP       | CARGA | DIÂMETRO | TENSÃO | FORMA DE RUPTURA (%)   |     |      |       |   |    | ESPESSURA |   |    |
|----------|-------|----------|--------|--|-----|------|-------|---|----|-----------|---|----|
|          |       |          |        | nº.  | (N) | (mm) | (MPa) | A | B  |           | C | D  |
| 1        | 167   | 50       | 0,09   |  |     |      |       |   |    | 100       |   | 3  |
| 2        | 69    | 50       | 0,04   |  |     |      |       |   |    | 100       |   | 4  |
| 3        | 148   | 50       | 0,08   |  |     |      |       |   |    | 100       |   | 3  |
| 4        | 96    | 50       | 0,05   |  |     |      |       | 5 | 95 |           |   | 28 |
| centro   | 46    | 50       | 0,02   |  |     |      |       |   |    | 100       |   | 2  |
| *Superf. | 78    | 50       | 0,04   |  |     |      |       |   |    | 100       |   | 1  |
| média    |       |          | 0,05   | observações<br>(* valor não considerado para o cálculo da média) |     |      |       |   |    |           |   |    |
| DP       |       |          | 0,03   |  |     |      |       |   |    |           |   |    |
| CV(%)    |       |          | 49     |  |     |      |       |   |    |           |   |    |



Tabela 14 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CC.AI.30\_Sev.

| CP       | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)  |   |   |   |     |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|----------|--------------|------------------|-----------------|---|---|---|---|-----|---|-------------------|
|          |              |                  |                 | A   | B | C | D | E   | F |                   |
| 1        | 62           | 50               | 0,03            |   |   |   |   | 100 |   | 2                 |
| 2        | 126          | 50               | 0,06            |   |   |   |   | 100 |   | 2                 |
| 3        | 13           | 50               | 0,01            | 100   |   |   |   |     |   | 28                |
| 4        | 59           | 50               | 0,03            |   |   |   |   | 100 |   | 2                 |
| centro   | 108          | 50               | 0,06            |   |   |   |   | 100 |   | 3                 |
| *Superf. | 86           | 50               | 0,04            |   |   |   |   | 100 |   | 1                 |
| média    |              |                  | 0,04            | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |   |   |   |     |   |                   |
| DP       |              |                  | 0,02            |   |   |   |   |     |   |                   |
| CV(%)    |              |                  | 61              |   |   |   |   |     |   |                   |

Tabela 15 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - SC.AME6.30\_Sev.

| CP       | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)  |   |     |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|----------|--------------|------------------|-----------------|---|---|-----|---|-------------------|
|          |              |                  |                 | A   | B | C   | D |                   |
| 1        | -            | 50               | 0,00            |   |   | 100 |   | 30                |
| 2        | -            | 50               | 0,00            |   |   | 100 |   | 30                |
| 3        | -            | 50               | 0,00            |   |   | 100 |   | 30                |
| 4        | -            | 50               | 0,00            |   |   | 100 |   | 30                |
| centro   | -            | 50               | 0,00            |   |   | 100 |   | 30                |
| *Superf. | 72           | 50               | 0,04            |   |   | 100 |   | 1                 |
| média    |              |                  | 0,00            | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |   |     |   |                   |
| DP       |              |                  | -               |   |   |     |   |                   |
| CV(%)    |              |                  | -               |   |   |     |   |                   |

Tabela 16 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CI.AME6.30\_Sev.

| CP       | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)  |   |   |   |     |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|----------|--------------|------------------|-----------------|---|---|---|---|-----|---|-------------------|
|          |              |                  |                 | A   | B | C | D | E   | F |                   |
| 1        | 62           | 50               | 0,03            |   |   |   |   | 100 |   | 3                 |
| 2        | 121          | 50               | 0,06            |   |   |   |   | 100 |   | 2                 |
| 3        | 34           | 50               | 0,02            |   |   |   |   | 100 |   | 3                 |
| 4        | 108          | 50               | 0,06            |   |   |   |   | 100 |   | 2                 |
| centro   | 23           | 50               | 0,01            |   |   |   |   | 100 |   | 2                 |
| *Superf. | 63           | 50               | 0,03            |   |   |   |   | 100 |   | 1                 |
| média    |              |                  | 0,04            | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |   |   |   |     |   |                   |
| DP       |              |                  | 0,02            |   |   |   |   |     |   |                   |
| CV(%)    |              |                  | 63              |   |   |   |   |     |   |                   |

Tabela 17 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CC.AME6.30\_Sev.

| CP       | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)  |   |   |   |     |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|----------|--------------|------------------|-----------------|---|---|---|---|-----|---|-------------------|
|          |              |                  |                 | A   | B | C | D | E   | F |                   |
| 1        | 52           | 50               | 0,03            |   |   |   |   | 100 |   | 28                |
| 2        | 76           | 50               | 0,04            |   |   |   |   | 100 |   | 2                 |
| 3        | 123          | 50               | 0,06            |   |   |   |   | 100 |   | 1                 |
| 4        | 119          | 50               | 0,06            |   |   |   |   | 100 |   | 2                 |
| centro   | 48           | 50               | 0,02            |   |   |   |   | 100 |   | 3                 |
| *Superf. | 72           | 50               | 0,04            |   |   |   |   | 100 |   | 1                 |
| média    |              |                  | 0,04            | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |   |   |   |     |   |                   |
| DP       |              |                  | 0,02            |   |   |   |   |     |   |                   |
| CV(%)    |              |                  | 43              |   |   |   |   |     |   |                   |

Tabela 18 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CC.AME6.15\_Sev.

| CP       | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)  |   |   |   |     |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|----------|--------------|------------------|-----------------|---|---|---|---|-----|---|-------------------|
|          |              |                  |                 | A   | B | C | D | E   | F |                   |
| 1        | 72           | 50               | 0,04            |   |   |   |   | 100 |   | 9                 |
| 2        | 46           | 50               | 0,02            |   |   |   |   | 100 |   | 12                |
| 3        | 39           | 50               | 0,02            |   |   |   |   | 100 |   | 25                |
| 4        | 57           | 50               | 0,03            |   |   |   |   | 100 |   | 3                 |
| centro   | 35           | 50               | 0,02            |   |   |   |   | 100 |   | 25                |
| *Superf. | 62           | 50               | 0,03            |   |   |   |   | 100 |   | 1                 |
| média    |              |                  | 0,03            | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |   |   |   |     |   |                   |
| DP       |              |                  | 0,01            |   |   |   |   |     |   |                   |
| CV(%)    |              |                  | 30              |   |   |   |   |     |   |                   |

Tabela 19 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CC.AME6.60\_Sev.

| CP       | CARGA<br>(N) | DIÂMETRO<br>(mm) | TENSÃO<br>(MPa) | FORMA DE RUPTURA (%)  |   |   |   |     |   | ESPESSURA<br>(mm) |
|----------|--------------|------------------|-----------------|---|---|---|---|-----|---|-------------------|
|          |              |                  |                 | A   | B | C | D | E   | F |                   |
| 1        | 111          | 50               | 0,06            |   |   |   |   | 100 |   | 11                |
| 2        | 58           | 50               | 0,03            |   |   |   |   | 100 |   | 9                 |
| 3        | 21           | 50               | 0,01            |   |   |   |   | 100 |   | 4                 |
| 4        | 57           | 50               | 0,03            |   |   |   |   | 100 |   | 12                |
| centro   | 8            | 50               | 0,00            |   |   |   |   | 100 |   | 10                |
| *Superf. | 47           | 50               | 0,02            |   |   |   |   | 100 |   | 1                 |
| média    |              |                  | 0,03            | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |   |   |   |     |   |                   |
| DP       |              |                  | 0,02            |   |   |   |   |     |   |                   |
| CV(%)    |              |                  | 79              |   |   |   |   |     |   |                   |

Tabela 20 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CC.AME6H.30\_Sev.

| CP       | CARGA | DIÂMETRO | TENSÃO | FORMA DE RUPTURA (%)  |     |      |       |    |   | ESPESSURA |    |
|----------|-------|----------|--------|---|-----|------|-------|----|---|-----------|----|
|          |       |          |        | nº.   | (N) | (mm) | (MPa) | A  | B |           | C  |
| 1        | 32    | 50       | 0,02   |   |     |      |       |    |   | 100       | 2  |
| *2       | 0     | 50       | 0,00   |   |     |      | 40    | 60 |   |           | 30 |
| 3        | 43    | 50       | 0,02   |   |     |      |       |    |   | 100       | 2  |
| 4        | 29    | 50       | 0,01   |   |     |      |       |    |   | 100       | 3  |
| centro   | 18    | 50       | 0,01   |   |     |      |       |    |   | 100       | 2  |
| *Superf. | 24    | 50       | 0,01   |   |     |      |       |    |   | 100       | 1  |
| média    |       |          | 0,02   | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |     |      |       |    |   |           |    |
| DP       |       |          | 0,01   |   |     |      |       |    |   |           |    |
| CV(%)    |       |          | 34     |   |     |      |       |    |   |           |    |

Tabela 21 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração - CC.AME12.30\_Sev.

| CP       | CARGA | DIÂMETRO | TENSÃO | FORMA DE RUPTURA (%)  |     |      |       |   |   | ESPESSURA |   |
|----------|-------|----------|--------|---|-----|------|-------|---|---|-----------|---|
|          |       |          |        | nº.   | (N) | (mm) | (MPa) | A | B |           | C |
| 1        | 91    | 50       | 0,05   |   |     |      |       |   |   | 100       | 6 |
| 2        | 36    | 50       | 0,02   |   |     |      |       |   |   | 100       | 2 |
| 3        | 72    | 50       | 0,04   |   |     |      |       |   |   | 100       | 2 |
| 4        | 32    | 50       | 0,02   |   |     |      |       |   |   | 100       | 3 |
| centro   | 29    | 50       | 0,01   |   |     |      |       |   |   | 100       | 1 |
| *Superf. | 43    | 50       | 0,02   |   |     |      |       |   |   | 100       | 1 |
| média    |       |          | 0,03   | observações<br>(* ) valor não considerado para o cálculo da média |     |      |       |   |   |           |   |
| DP       |       |          | 0,01   |   |     |      |       |   |   |           |   |
| CV(%)    |       |          | 54     |   |     |      |       |   |   |           |   |

**APÊNDICE F - RESULTADOS DO ENSAIO DE  
ACOMPANHAMENTO DA MOVIMENTAÇÃO SUPERFICIAL**

Série – SC.AI.30\_Sev.

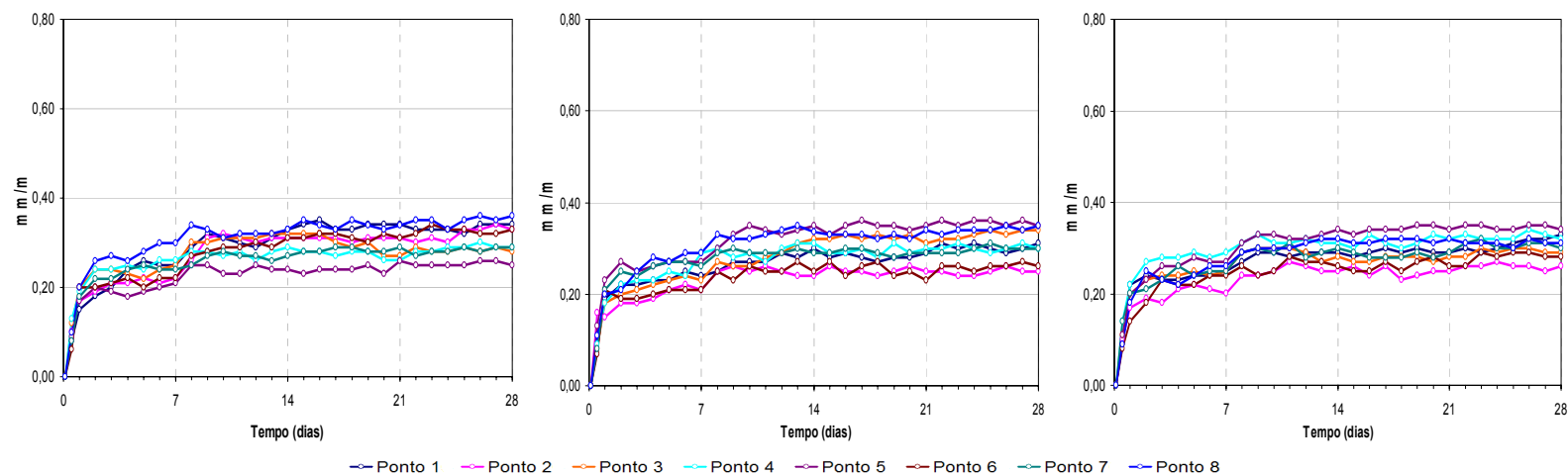


Figura 1 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas SC.AI.30 - 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Resumo com os resultados médio da série SC.AI.30\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,101 | 0,189 | 0,220 | 0,226 | 0,234 | 0,241 | 0,246 | 0,248 | 0,281 | 0,288 | 0,289 | 0,290 | 0,291 | 0,294 | 0,298 | 0,295 | 0,297 | 0,298 | 0,293 | 0,297 | 0,294 | 0,295 | 0,300 | 0,303 | 0,301 | 0,305 | 0,308 | 0,308 | 0,307 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,017 | 0,012 | 0,021 | 0,020 | 0,019 | 0,019 | 0,022 | 0,025 | 0,022 | 0,020 | 0,014 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 0,017 | 0,021 | 0,017 | 0,022 | 0,022 | 0,015 | 0,023 | 0,020 | 0,018 | 0,018 | 0,015 | 0,019 | 0,018 | 0,020 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 17,1  | 6,2   | 9,8   | 9,0   | 8,1   | 8,1   | 8,8   | 10,0  | 7,8   | 7,1   | 4,9   | 4,6   | 5,9   | 6,6   | 6,9   | 5,9   | 7,1   | 5,7   | 7,5   | 7,5   | 5,1   | 7,7   | 6,8   | 6,0   | 6,0   | 5,0   | 6,2   | 5,8   | 6,4   |

Série – CLAI.30\_Sev.

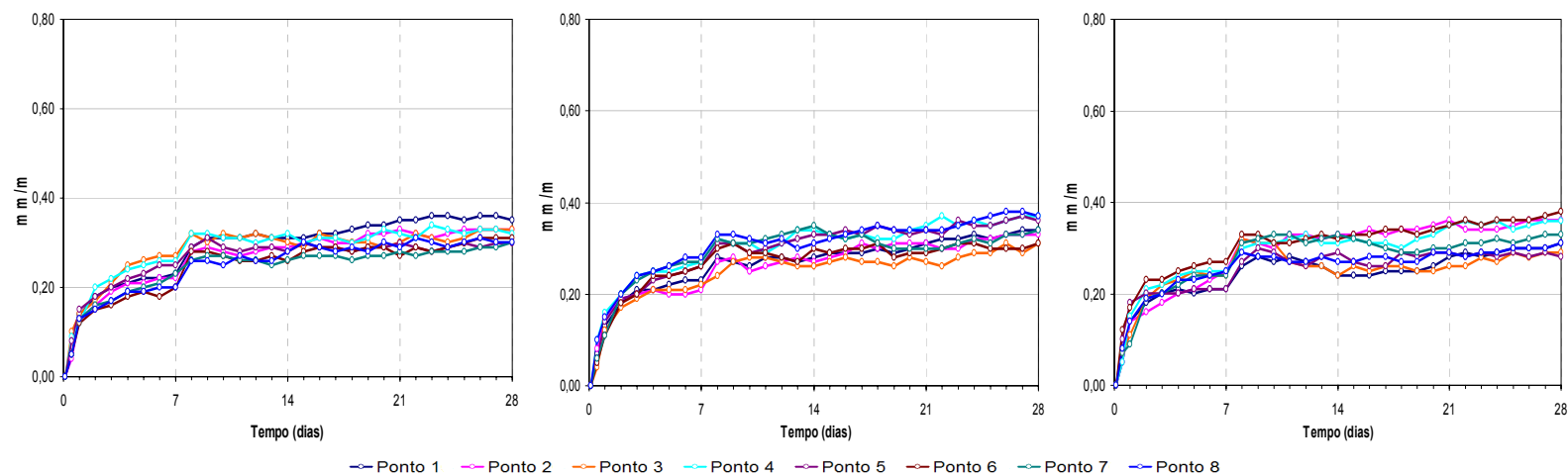


Figura 2 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CLAI.30 - 1, 2 e 3.

Tabela 2 – Resumo com os resultados médio da série CLAI.30\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,069 | 0,135 | 0,184 | 0,203 | 0,222 | 0,228 | 0,235 | 0,241 | 0,295 | 0,299 | 0,292 | 0,291 | 0,292 | 0,293 | 0,295 | 0,297 | 0,300 | 0,300 | 0,300 | 0,299 | 0,305 | 0,310 | 0,311 | 0,314 | 0,317 | 0,318 | 0,325 | 0,328 | 0,329 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,010 | 0,014 | 0,010 | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 0,013 | 0,012 | 0,011 | 0,009 | 0,012 | 0,009 | 0,010 | 0,015 | 0,018 | 0,014 | 0,012 | 0,013 | 0,013 | 0,017 | 0,019 | 0,020 | 0,020 | 0,016 | 0,019 | 0,014 | 0,014 | 0,015 | 0,013 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 14,5  | 10,3  | 5,4   | 5,3   | 5,2   | 6,0   | 5,3   | 4,8   | 3,6   | 3,2   | 4,2   | 3,1   | 3,5   | 5,0   | 6,3   | 4,7   | 3,9   | 4,3   | 4,3   | 5,6   | 6,3   | 6,6   | 6,5   | 5,2   | 5,9   | 4,5   | 4,4   | 4,6   | 4,1   |

Série – CC.AI.30\_Sev.

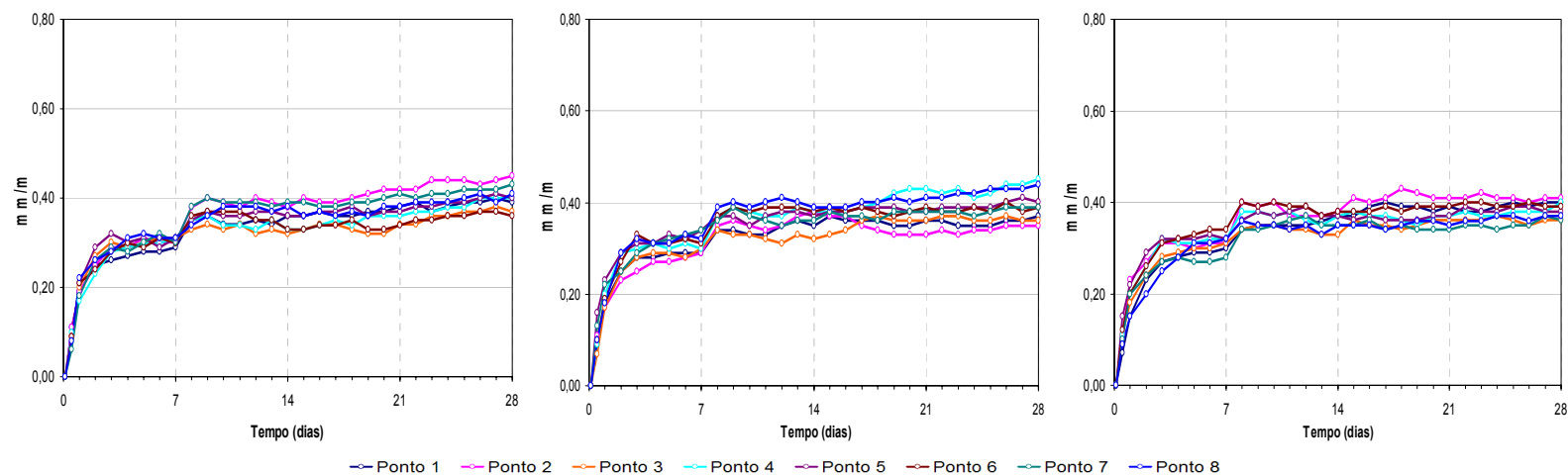


Figura 3 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AI.30 - 1, 2 e 3.

Tabela 3 – Resumo com os resultados médio da série CI.AI.30\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,102 | 0,193 | 0,257 | 0,291 | 0,296 | 0,303 | 0,306 | 0,309 | 0,360 | 0,369 | 0,363 | 0,362 | 0,363 | 0,362 | 0,362 | 0,367 | 0,368 | 0,369 | 0,370 | 0,370 | 0,373 | 0,376 | 0,380 | 0,381 | 0,382 | 0,385 | 0,390 | 0,391 | 0,393 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,015 | 0,014 | 0,014 | 0,015 | 0,012 | 0,011 | 0,012 | 0,010 | 0,014 | 0,016 | 0,017 | 0,017 | 0,020 | 0,015 | 0,017 | 0,015 | 0,012 | 0,010 | 0,012 | 0,013 | 0,013 | 0,011 | 0,011 | 0,012 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,013 | 0,017 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 14,5  | 7,4   | 5,6   | 5,2   | 3,9   | 3,7   | 4,0   | 3,1   | 4,0   | 4,3   | 4,8   | 4,7   | 5,5   | 4,1   | 4,7   | 4,0   | 3,3   | 2,6   | 3,3   | 3,4   | 3,5   | 2,8   | 2,9   | 3,1   | 3,0   | 3,1   | 3,4   | 3,3   | 4,2   |

Série – SC.AME6.30\_Sev.

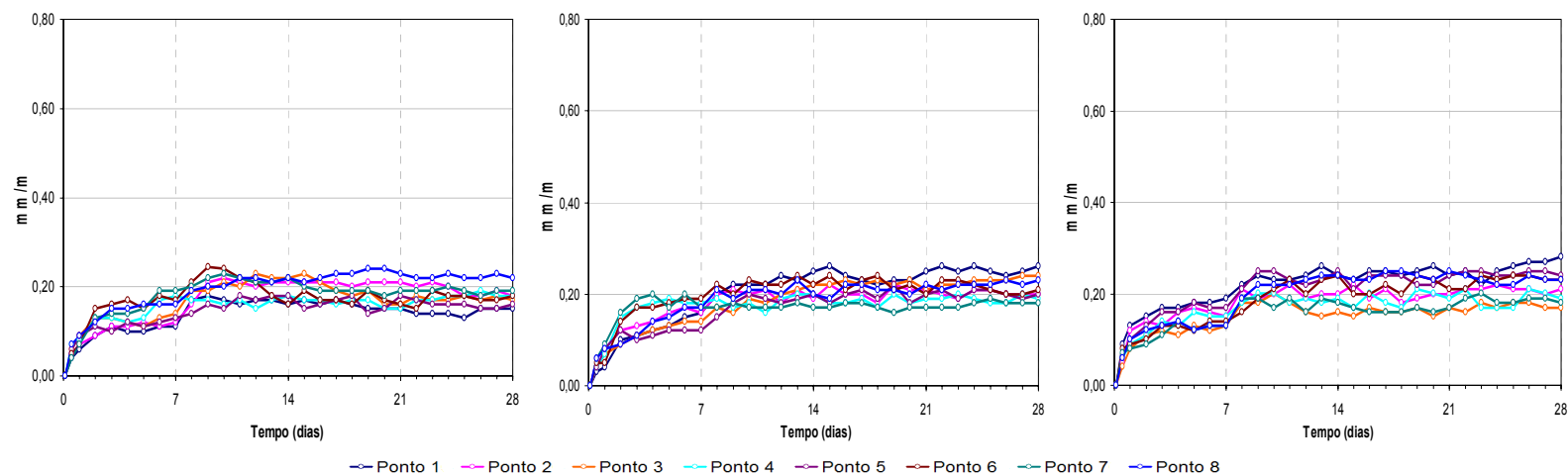


Figura 4 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas SC.AME6.30\_Sev. - 1, 2 e 3.

Tabela 4 – Resumo com os resultados médio da série SC.AME6.30\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,055 | 0,082 | 0,120 | 0,134 | 0,140 | 0,143 | 0,153 | 0,153 | 0,187 | 0,198 | 0,203 | 0,201 | 0,197 | 0,205 | 0,204 | 0,199 | 0,200 | 0,202 | 0,195 | 0,202 | 0,195 | 0,198 | 0,201 | 0,201 | 0,203 | 0,201 | 0,203 | 0,203 | 0,203 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,005 | 0,007 | 0,008 | 0,013 | 0,014 | 0,011 | 0,016 | 0,013 | 0,011 | 0,013 | 0,014 | 0,017 | 0,016 | 0,015 | 0,011 | 0,018 | 0,016 | 0,020 | 0,019 | 0,017 | 0,020 | 0,020 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,014 | 0,015 | 0,014 | 0,017 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 9,1   | 8,9   | 7,1   | 9,9   | 10,3  | 7,8   | 10,4  | 8,2   | 5,7   | 6,8   | 6,9   | 8,7   | 8,0   | 7,4   | 5,5   | 9,3   | 7,8   | 9,7   | 10,0  | 8,5   | 10,1  | 10,3  | 7,2   | 7,6   | 7,6   | 7,1   | 7,6   | 7,1   | 8,5   |



Série – CI.AME6.30\_Sev.

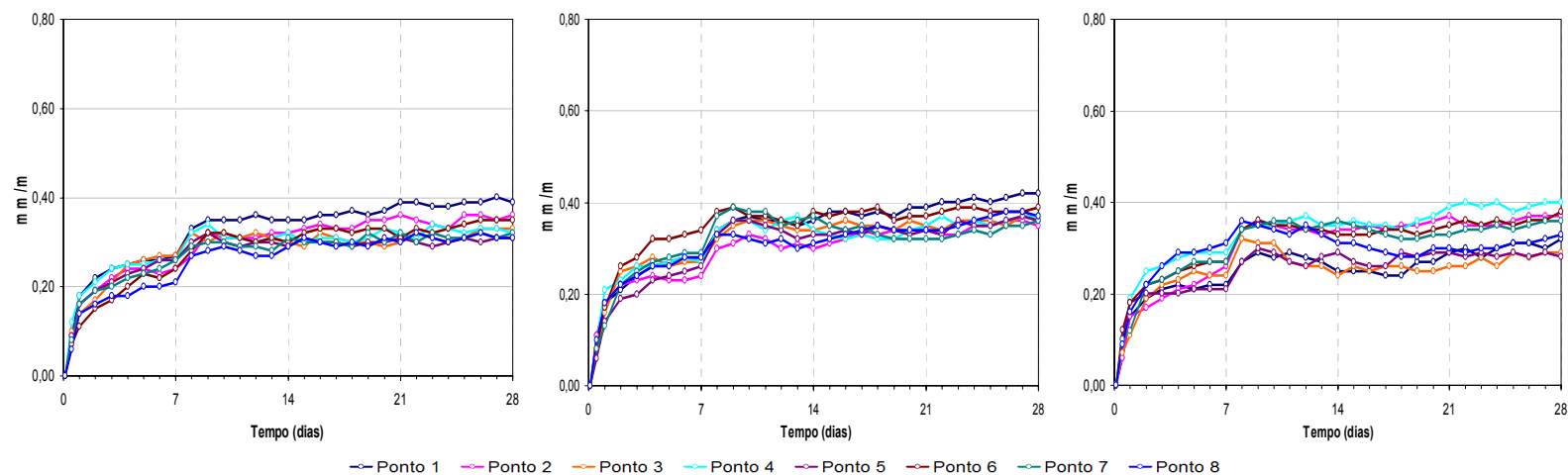


Figura 5 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CI.AME6.30\_Sev. - 1, 2 e 3.

Tabela 5 – Resumo com os resultados médio da série CI.AME6.30\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,087 | 0,159 | 0,206 | 0,226 | 0,245 | 0,252 | 0,258 | 0,263 | 0,320 | 0,335 | 0,333 | 0,325 | 0,322 | 0,319 | 0,320 | 0,322 | 0,323 | 0,322 | 0,322 | 0,322 | 0,328 | 0,333 | 0,334 | 0,336 | 0,338 | 0,340 | 0,346 | 0,349 | 0,350 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,007 | 0,018 | 0,012 | 0,014 | 0,014 | 0,016 | 0,015 | 0,014 | 0,013 | 0,014 | 0,012 | 0,016 | 0,014 | 0,016 | 0,019 | 0,014 | 0,016 | 0,018 | 0,016 | 0,018 | 0,020 | 0,022 | 0,025 | 0,018 | 0,024 | 0,019 | 0,022 | 0,019 | 0,022 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 8,3   | 11,5  | 5,7   | 6,4   | 5,8   | 6,3   | 5,9   | 5,3   | 4,2   | 4,2   | 3,5   | 5,0   | 4,5   | 5,2   | 5,9   | 4,5   | 4,8   | 5,5   | 5,0   | 5,7   | 6,2   | 6,6   | 7,4   | 5,5   | 7,0   | 5,6   | 6,2   | 5,4   | 6,3   |

Série – CC.AME6.30\_Sev.

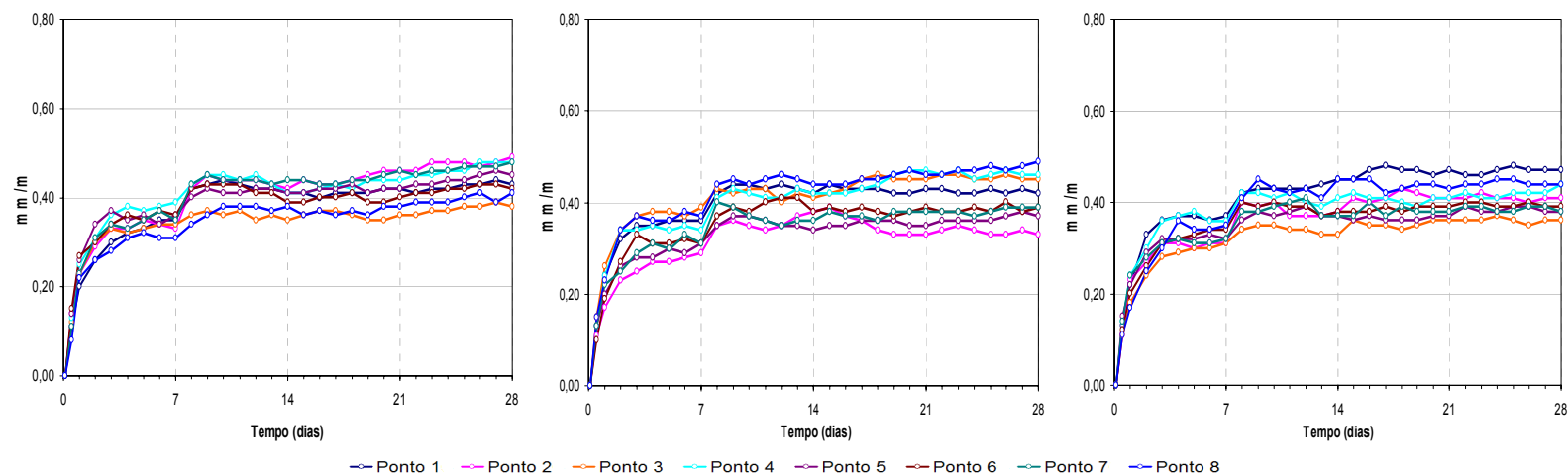


Figura 6 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AME6.30\_Sev. - 1, 2 e 3.

Tabela 6 – Resumo com os resultados médio da série CC.AME6.30\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,126 | 0,223 | 0,289 | 0,324 | 0,332 | 0,335 | 0,339 | 0,340 | 0,397 | 0,408 | 0,405 | 0,403 | 0,402 | 0,398 | 0,396 | 0,402 | 0,403 | 0,403 | 0,404 | 0,403 | 0,408 | 0,409 | 0,413 | 0,415 | 0,415 | 0,418 | 0,420 | 0,421 | 0,421 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,008 | 0,012 | 0,017 | 0,017 | 0,020 | 0,018 | 0,018 | 0,018 | 0,018 | 0,019 | 0,020 | 0,019 | 0,022 | 0,020 | 0,023 | 0,021 | 0,019 | 0,020 | 0,019 | 0,022 | 0,024 | 0,023 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,023 | 0,022 | 0,021 | 0,024 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 6,4   | 5,2   | 5,8   | 5,1   | 6,0   | 5,4   | 5,2   | 5,2   | 4,6   | 4,7   | 4,9   | 4,8   | 5,6   | 5,0   | 5,9   | 5,2   | 4,8   | 5,0   | 4,6   | 5,5   | 5,8   | 5,6   | 4,8   | 4,8   | 4,8   | 5,6   | 5,3   | 5,1   | 5,8   |

Série – CC.AME6H.30\_Sev.

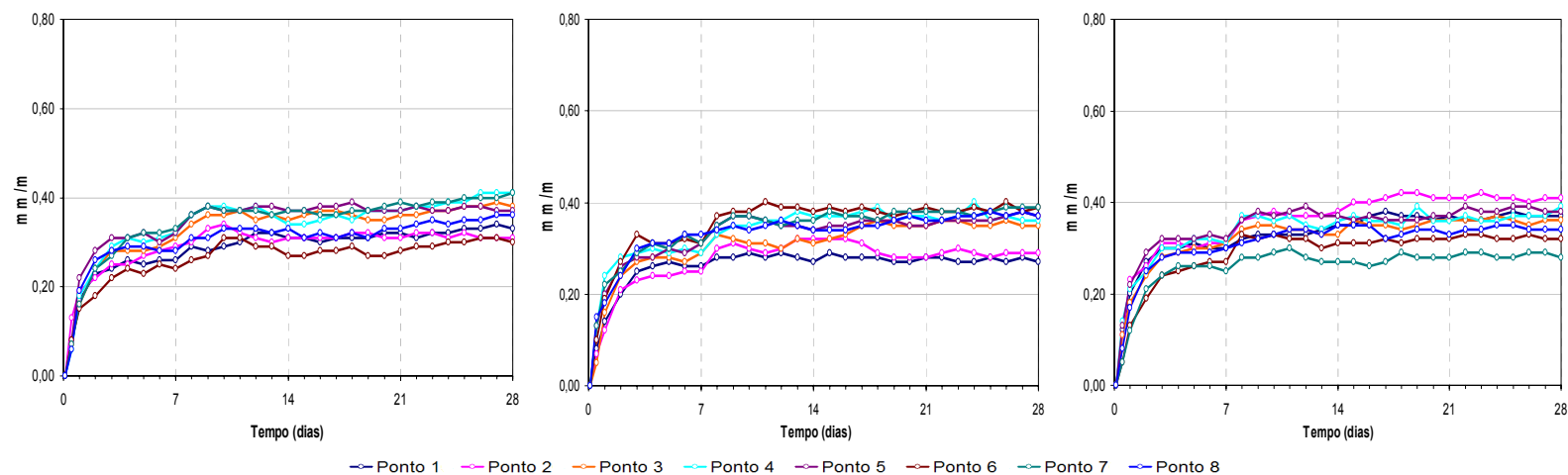


Figura 7 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AME6H.30\_Sev. - 1, 2 e 3.

Tabela 7 – Resumo com os resultados médio da série SC.AME6H.30\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,094 | 0,180 | 0,242 | 0,277 | 0,286 | 0,288 | 0,293 | 0,295 | 0,329 | 0,339 | 0,342 | 0,342 | 0,340 | 0,337 | 0,336 | 0,340 | 0,341 | 0,343 | 0,344 | 0,343 | 0,344 | 0,345 | 0,349 | 0,351 | 0,351 | 0,353 | 0,355 | 0,356 | 0,355 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,014 | 0,021 | 0,019 | 0,016 | 0,016 | 0,016 | 0,014 | 0,016 | 0,020 | 0,025 | 0,020 | 0,021 | 0,020 | 0,018 | 0,017 | 0,016 | 0,018 | 0,018 | 0,017 | 0,019 | 0,018 | 0,016 | 0,020 | 0,018 | 0,021 | 0,018 | 0,021 | 0,019 | 0,021 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 15,4  | 11,5  | 8,0   | 5,7   | 5,4   | 5,7   | 4,8   | 5,5   | 6,0   | 7,4   | 5,9   | 6,2   | 5,8   | 5,2   | 5,0   | 4,6   | 5,1   | 5,2   | 5,1   | 5,7   | 5,2   | 4,7   | 5,6   | 5,3   | 5,8   | 5,1   | 5,9   | 5,4   | 5,9   |

Série – CC.AME12.30\_Sev.

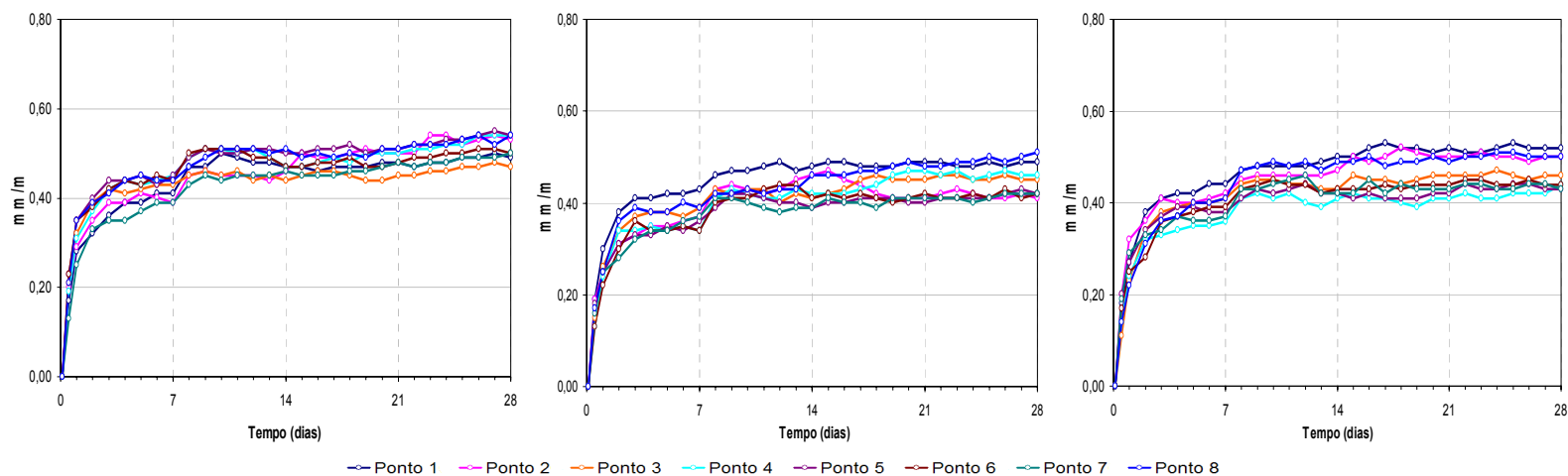


Figura 8 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AME12.30\_Sev.- 1, 2 e 3.

Tabela 8 – Resumo com os resultados médio da série CIAME12.30\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,175 | 0,275 | 0,342 | 0,376 | 0,385 | 0,390 | 0,395 | 0,399 | 0,442 | 0,453 | 0,453 | 0,453 | 0,451 | 0,448 | 0,449 | 0,455 | 0,457 | 0,458 | 0,458 | 0,458 | 0,462 | 0,463 | 0,466 | 0,470 | 0,469 | 0,472 | 0,475 | 0,476 | 0,475 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,018 | 0,010 | 0,017 | 0,018 | 0,016 | 0,018 | 0,018 | 0,017 | 0,013 | 0,013 | 0,019 | 0,017 | 0,020 | 0,019 | 0,025 | 0,026 | 0,024 | 0,023 | 0,023 | 0,023 | 0,024 | 0,022 | 0,020 | 0,023 | 0,024 | 0,025 | 0,020 | 0,021 | 0,023 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 10,4  | 3,7   | 5,0   | 4,9   | 4,1   | 4,7   | 4,5   | 4,2   | 3,0   | 2,8   | 4,1   | 3,8   | 4,5   | 4,2   | 5,7   | 5,7   | 5,2   | 5,1   | 5,1   | 5,1   | 5,2   | 4,8   | 4,4   | 4,8   | 5,0   | 5,3   | 4,2   | 4,5   | 4,9   |

Série – CC.AME6.15\_Sev.

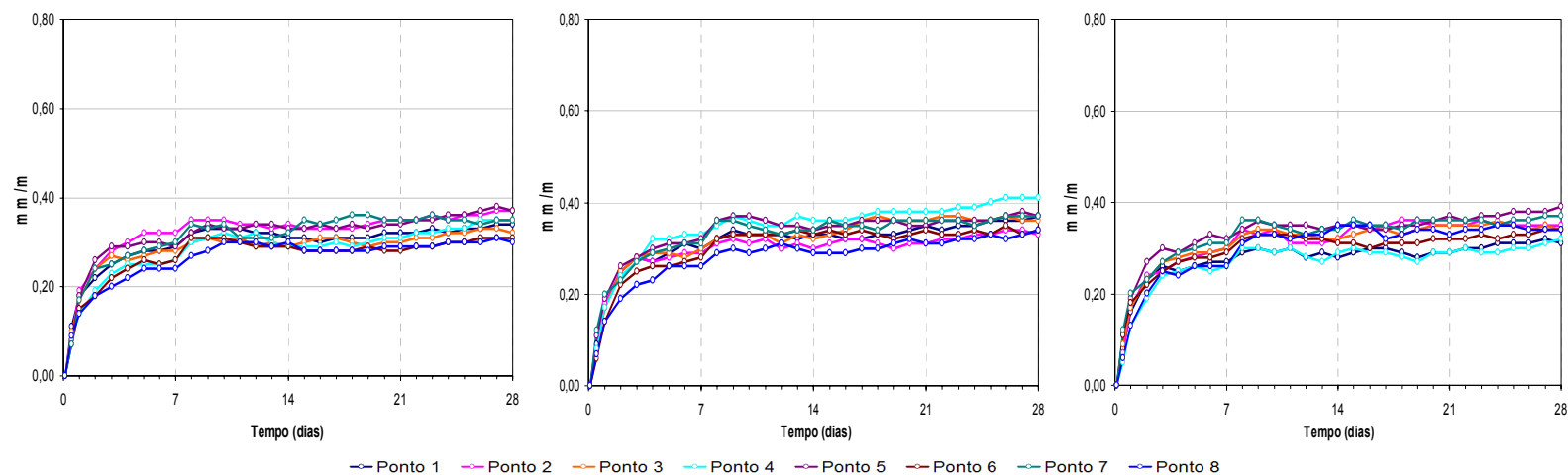


Figura 9 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AME6.15\_Sev.- 1, 2 e 3.

Tabela 9 – Resumo com os resultados médio da série CC.AME6.15\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,087 | 0,167 | 0,227 | 0,259 | 0,270 | 0,281 | 0,285 | 0,289 | 0,322 | 0,330 | 0,328 | 0,324 | 0,319 | 0,319 | 0,318 | 0,324 | 0,323 | 0,325 | 0,325 | 0,326 | 0,331 | 0,332 | 0,335 | 0,338 | 0,339 | 0,342 | 0,345 | 0,349 | 0,348 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,012 | 0,019 | 0,024 | 0,021 | 0,020 | 0,017 | 0,020 | 0,019 | 0,020 | 0,017 | 0,015 | 0,011 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,018 | 0,017 | 0,018 | 0,018 | 0,020 | 0,017 | 0,017 | 0,018 | 0,017 | 0,015 | 0,015 | 0,017 | 0,018 | 0,017 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 13,8  | 11,4  | 10,6  | 8,1   | 7,3   | 6,0   | 7,0   | 6,5   | 6,1   | 5,0   | 4,5   | 3,5   | 3,8   | 3,7   | 3,8   | 5,5   | 5,3   | 5,5   | 5,6   | 6,1   | 5,0   | 5,2   | 5,3   | 5,2   | 4,4   | 4,5   | 4,9   | 5,2   | 5,0   |

Série – CC.AME6.60\_Sev.

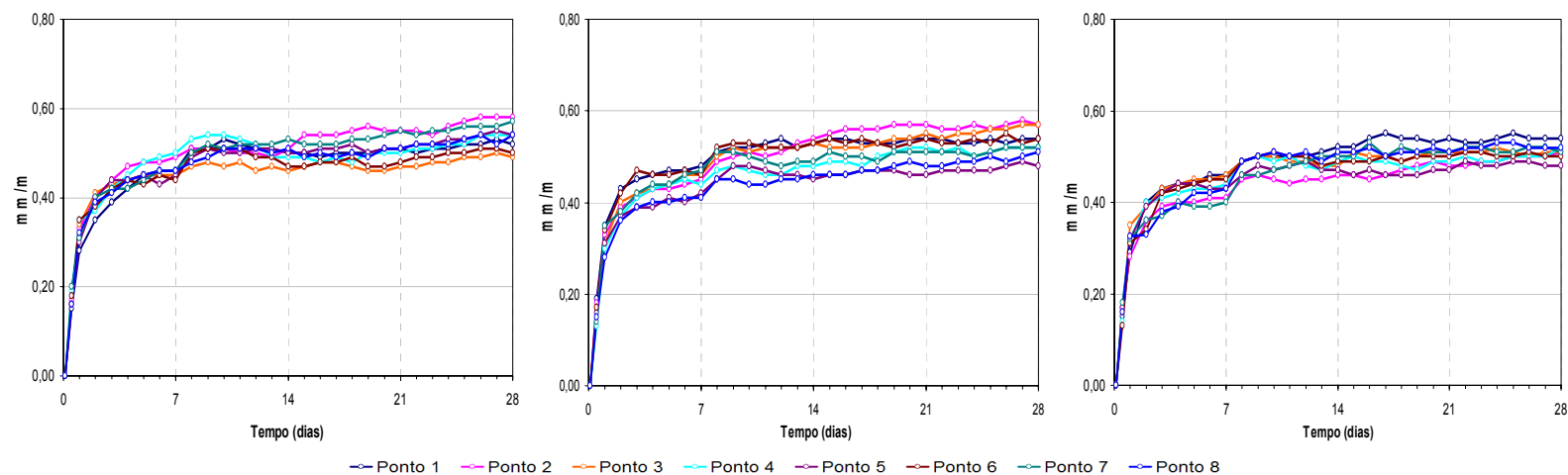


Figura 10 – Gráficos da movimentação superficial em relação ao centro das placas CC.AME6.60\_Sev.- 1, 2 e 3.

Tabela 10 – Resumo com os resultados médio da série CC.AME6.60\_Sev.

| T(dias)       | 0,125 | 0,5   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    | 26    | 27    | 28    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>MÉDIA</b>  | 0,000 | 0,163 | 0,319 | 0,383 | 0,416 | 0,430 | 0,439 | 0,445 | 0,449 | 0,488 | 0,498 | 0,498 | 0,495 | 0,495 | 0,492 | 0,496 | 0,500 | 0,502 | 0,502 | 0,503 | 0,505 | 0,510 | 0,511 | 0,513 | 0,514 | 0,516 | 0,520 | 0,524 | 0,525 | 0,526 |
| <b>DP</b>     | 0,000 | 0,007 | 0,011 | 0,012 | 0,014 | 0,011 | 0,012 | 0,015 | 0,012 | 0,013 | 0,011 | 0,013 | 0,013 | 0,011 | 0,012 | 0,013 | 0,016 | 0,016 | 0,017 | 0,016 | 0,019 | 0,018 | 0,018 | 0,012 | 0,013 | 0,014 | 0,015 | 0,014 | 0,015 | 0,016 |
| <b>CV (%)</b> | 0,0   | 4,4   | 3,5   | 3,1   | 3,3   | 2,6   | 2,6   | 3,4   | 2,7   | 2,7   | 2,3   | 2,6   | 2,6   | 2,2   | 2,5   | 2,7   | 3,1   | 3,1   | 3,3   | 3,2   | 3,9   | 3,5   | 3,4   | 2,4   | 2,5   | 2,7   | 2,9   | 2,6   | 2,9   | 3,0   |

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)