

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Márlon Augusto Longhi

**REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA
SOBRE SUBSTRATO DE CONCRETO ESTRUTURAL:
ANÁLISE DO DESEMPENHO QUANDO SUBMETIDOS A
ENVELHECIMENTO ACELERADO**

Porto Alegre
dezembro 2012

MÁRLON AUGUSTO LONGHI

**REVESTIMENTO DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA
SOBRE SUBSTRATO DE CONCRETO ESTRUTURAL:
ANÁLISE DO DESEMPENHO QUANDO SUBMETIDOS A
ENVELHECIMENTO ACELERADO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Angela Borges Masuero

Porto Alegre
dezembro 2012

MÁRLON AUGUSTO LONGHI

**REVESTIMENTO DE ARGAMASSA INDUSTRIALIZADA
SOBRE SUBSTRATO DE CONCRETO ESTRUTURAL:
ANÁLISE DO DESEMPENHO QUANDO SUBMETIDOS A
ENVELHECIMENTO ACELERADO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 3 de dezembro de 2012

Profa. Angela Borges Masuero
Dra. pela UFRGS
Orientador/a

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa Angela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela UFRGS

Profa Carina Mariane Stolz (FSG)
MSc. pela UFRGS

Eugênio Bastos da Costa
Eng. Civil pela UFAL

Dedico este trabalho a meus pais, Valnei e Jucilene, e
irmãs, Iane e Lorenza, que mesmo longe,
sempre estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Como primeiro agradecimento, nada mais justo que agradecer à minha família, que sempre me apoiou e possibilitou tal realização. Meu pai Valnei e Jucilene, que não mediram esforços para me educar e me tornar o que sou hoje. Minhas irmãs Iane e Lorenza, pessoas que mais me fizeram sofrer pela ausência, mas também me deram força para continuar. A meus avós Édis e Ivone, que ajudar a me criar e educar, e hoje me servem de exemplo. E a minha querida tia Eline, a quem tenho muito respeito e admiração. E a todos demais familiares, que sempre me ajudaram e participaram de meu desenvolvimento.

Agradeço a Profa. Angela Masuero, orientadora deste trabalho, pela dedicação e empenho prestado para a realização não só desse trabalho, mas em toda minha formação acadêmica.

Agradeço a todos professores da UFRGS, pelo conhecimento passado, em especial para a Profa. Carin, pela grande contribuição para este trabalho.

Agradeço a meus colegas de apartamento, primeiramente ao Tito, que me ajudou muito na chegada a Porto Alegre, e ao Emerson, também grande amigo e companheiro, apesar de continuar fazendo barulho enquanto eu tento escrever.

Agradeço de forma muito especial ao todo pessoal da Norie, professores, alunos e funcionários, que me receberam muito bem, me ensinaram muita coisa e me fizeram gostar da pesquisa. Posso dizer que esse grupo foi uma espécie de família, onde hoje tenho grandes amigos, que certamente serão lembrados e levados por toda vida.

Agradeço também a todos meus amigos e colegas da UFRGS, alguns, perdi no caminho, e outros, encontrei, mas todos com meu carinho e admiração.

O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho
é no dicionário.

Albert Einstein

RESUMO

Atualmente o tipo de revestimento mais utilizado é o de argamassa, e com o aquecimento do mercado imobiliário, houve um proporcional aumento da utilização de argamassas industrializadas. Esse produto é relativamente novo e não se tem o conhecimento detalhado de seu desempenho ao longo do tempo. A motivação desse trabalho deu-se justamente pela falta de dados e pela incidência de manifestações patológicas em edifícios de baixas idades nos quais esses materiais foram utilizados. O objetivo foi identificar e quantificar a variação do desempenho desse tipo de revestimento ao longo do tempo. Para isso foram feitos ensaios de desempenho como resistência de aderência à tração e análise de alteração superficial para diferentes períodos de exposição ao ambiente de degradação acelerado. Como a argamassa tem suas propriedades alteradas no estado endurecido em virtude do contato com substratos porosos, primeiramente foram moldadas placas de concreto com dimensões (90x10x4) cm e resistência característica de 35 MPa aos 28 dias, simulando uma superfície de concreto. Posteriormente foi aplicado o revestimento nessas placas de concreto, formando miniparedes. Antes da aplicação da camada de argamassa de revestimento foi aplicada uma camada de preparação denominada argamassa de chapisco. Foram estudadas três argamassas de revestimento dos principais fabricantes presentes em Porto Alegre, sendo que tanto o chapisco como a argamassa utilizada foram do mesmo fabricante para cada combinação. Para avaliar o comportamento do revestimento ao longo do tempo foram analisadas placas sem envelhecimento, com envelhecimento natural, em que as placas permaneceram certo período em câmara climatizada, e envelhecimento acelerado, as quais ficaram expostas ao ambiente de degradação acelerado. Com isso tem-se o comparativo para várias situações ao longo de determinado período de tempo. Com a análise dos resultados obtidos nos ensaios de determinação de desempenho observou-se um aumento da resistência de aderência à tração ao longo do tempo no envelhecimento em câmara climatizada, já para envelhecimento acelerado, apresentou um ganho de resistência nas primeiras idades com posterior diminuição para maiores idades.

Palavras-chave: Revestimento de Argamassa Industrializada. Envelhecimento Acelerado.de
Revestimento de Argamassa. Desempenho da Argamassa Industrializada ao Longo do
Tempo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa.....	20
Figura 2 – Representação da conceituação de argamassa de revestimento.....	22
Figura 3 – Aspecto visual da superfície coberta com chapisco convencional.....	25
Figura 4 – Aspecto visual da superfície com aplicação de chapisco desempenado.....	26
Figura 5 – Aspecto visual da superfície com aplicação de chapisco rolado.....	27
Figura 6 – Condições de molhabilidade de uma superfície para diferentes ângulos de contato θ	30
Figura 7 – Modelo de aderência da argamassa ao substrato.....	32
Figura 8 – Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa mista de cimento, cal e areia e blocos cerâmicos.....	33
Figura 9 – Aspecto visual da plasticidade na argamassa.....	36
Figura 10 – Fatores externos de desempenho.....	41
Figura 11 – Evolução das resistências mecânicas.....	46
Figura 12 – Planejamento dos experimentos da pesquisa.....	47
Figura 13 – Placas de concreto.....	49
Figura 14 – Aplicação do chapisco.....	49
Figura 15 – Aspecto visual das placas de concreto após aplicação da camada de chapisco.....	50
Figura 16 – Aplicação da argamassa.....	51
Figura 17 – Argamassa aplicada.....	51
Figura 18 – Período para execução de cada etapa em dias acumulados.....	52
Figura 19 – Mecanismos de funcionamento do simulador de envelhecimento acelerado.....	55
Figura 20 – Equipamento de envelhecimento acelerado concluído.....	56
Figura 21 – Preparação para ensaio de arrancamento.....	58
Figura 22 – Formas de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração.....	59
Figura 23 – Análise de variância da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento de argamassa submetidos à diferentes condições de exposição.....	68
Figura 24– Análise de médias da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento de argamassa submetidos à diferentes condições de exposição.....	69
Figura 25 – Linhas de tendência da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento submetidos à envelhecimento acelerado.....	70

Figura 26 – Velocidade de propagação da onda ultrassônica sobre as placas de revestimento.....	74
Figura 27 – Relação entre resistência de aderência à tração e velocidade de propagação	75
Figura 28 – Alteração superficial das diferentes argamassas para envelhecimento em câmara climatizada e acelerado.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características química, física e mecânica do cimento utilizado.....	53
Tabela 2 – Traço para substrato de concreto em massa.....	53
Tabela 3 – Resistência à compressão do concreto aos 28 dias.....	62
Tabela 4 – Propriedades das argamassas de chapisco e suas respectivas normas.....	63
Tabela 5 – Propriedades das argamassas de revestimento e suas respectivas normas.....	64
Tabela 6 – Valores médios da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimentos de argamassa submetidos à diferentes condições de exposição.....	66
Tabela 7 – Análise de variância da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimentos de argamassa submetidos à diferentes condições de exposição.....	67
Tabela 8 – Formas de ruptura dos diferentes sistemas de revestimento submetidos à diferentes condições de exposição.....	71
Tabela 9 – Velocidade de propagação da onda ultrassônica sobre as placas de revestimento.....	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Velocidade de propagação dos materiais.....	60
--	----

LISTA DE SIMBOLOS

θ – Ângulo de contato

α – Absorbância

ε – Emitância

CP II – Cimento Portland composto

CP IV – Cimento Portland pozolânico

CP II Z – Cimento Portland composto por adição de material pozolânico

UVA – Radiação ultravioleta (comprimento de onda compreendido entre 400 e 320 nm).

UVB – Radiação ultravioleta (comprimento de onda compreendido entre 320 e 280 nm).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	17
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	17
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	17
2.2.1 Objetivo principal.....	17
2.2.2 Objetivos secundários.....	17
2.3 HIPÓTESE.....	18
2.4 PRESSUPOSTO.....	18
2.5 PREMISA.....	18
2.6 DELIMITAÇÕES.....	18
2.7 LIMITAÇÕES.....	19
2.8 DELINEAMENTO DE PESQUISA.....	19
3 SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....	21
3.1 COMPONENTES.....	22
3.1.1 Argamassa de revestimento.....	22
3.1.2 Argamassa de chapisco.....	24
3.1.2.1 Chapisco convencional ou aplicado com colher.....	24
3.1.2.2 Chapisco desempenado ou aplicado com desempenadeira.....	25
3.1.2.3 Chapisco rolado ou aplicado com rolo.....	26
3.1.3 Substrato.....	28
3.2 ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA.....	29
3.2.1 Adesão inicial.....	29
3.2.2 Aderência.....	30
3.2.3 Microestrutura da interface substrato/revestimento.....	33
3.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA.....	34
3.3.1 Estado fresco.....	34
3.3.1.1 Consistência.....	34
3.3.1.2 Plasticidade.....	35
3.3.1.3 Retenção de água.....	37
3.3.1.4 Ar incorporado.....	38
3.3.2 Estado endurecido.....	38
3.3.2.1 Capacidade de absorver deformações.....	39
3.3.2.2 Resistências mecânicas.....	39

3.3.2.3 Absorção.....	40
3.4 CONDIÇÕES AMBIENTAIS.....	41
3.4.1 Chuva.....	42
3.4.2 Vento.....	43
3.4.3 Radiação solar.....	44
3.4.4 Variação térmica.....	44
3.5 CARACTERÍSTICAS DO REVESTIMENTO AO LONGO DO TEMPO.....	45
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	47
4.1 PREPARAÇÃO DA PESQUISA.....	48
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
4.2.1 Materiais.....	53
4.2.1.1 Concreto do substrato.....	53
4.2.1.2 Argamassa de chapisco.....	54
4.2.1.1.1 <i>Chapisco rolado</i>	54
4.2.1.1.2 <i>Chapisco desempenado</i>	54
4.2.2.3 Argamassa de revestimento.....	54
4.2.2 Envelhecimento acelerado.....	54
4.3 ENSAIOS REALIZADOS.....	56
4.3.1 Densidade de massa.....	57
4.3.2 Absorção de água por capilaridade.....	57
4.3.3 Resistências à tração na flexão e à compressão.....	57
4.3.4 Módulo de deformação dinâmico.....	58
4.3.5 Resistência de aderência à tração.....	58
4.3.6 Ultrassom.....	59
4.3.7 Análise tato-visual da superfície.....	61
5 ANÁLISE DE RESULTADOS.....	62
5.1 PROPRIEDADE DOS MATERIAIS.....	62
5.1.1 Resistência à compressão do concreto.....	62
5.1.2 Caracterização e controle das argamassas de revestimento.....	63
5.2 DESEMPENHO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO.....	65
5.2.1 Resistência de aderência à tração.....	65
5.2.2 Ultrassom.....	73
5.2.3 Análise tato-visual.....	75

6 CONCLUSÕES.....	77
7 TRABALHOS FUTUROS.....	78
REFERÊNCIA.....	79
APÊNDICE A.....	82
APÊNDICE B.....	84
APÊNDICE C.....	89

1 INTRODUÇÃO

O principal sistema de revestimento utilizado na região sul do Brasil é o revestimento de argamassa. Sua utilização é justificada pela facilidade de aplicação e pelo baixo custo de produção quando comparado aos demais.

Segundo Silva (2006, p. 1), os níveis de produção de revestimento em argamassa crescem cada vez mais, ao lado de uma diversificação no mercado dos tipos e formas de aplicação das argamassas. Nos últimos anos, as argamassas industrializadas vêm sendo utilizadas de forma mais intensa.

Apesar do desenvolvimento das técnicas e dos materiais constituintes da argamassa, vários tipos de manifestações patológicas ocorrem. Segundo Moura (2007, p. 17), entre tais manifestações destacam-se:

- a) aderência insuficiente (descolamento ou deslocamento);
- b) fissuração;
- c) mancha de umidade;
- d) retração.

Entre as principais causas das manifestações patológicas destacam-se:

- a) técnica de execução inadequada;
- b) baixa qualidade dos materiais;
- c) inexistência ou condições impróprias de cura;
- d) falta de detalhes construtivos na fachada;
- e) falta de manutenção.

Revestimentos argamassados aplicados sobre estruturas de concreto armado são os que apresentam maior incidência de manifestações patológicas. Frente à necessidade de produzir estruturas mais esbeltas ou decorrente de uma maior preocupação com a durabilidade, implicando em relações água/cimento mais baixas, alterando assim o desempenho dos revestimentos, pois se o concreto apresentar maior resistência mecânica terá uma menor porosidade e, conseqüentemente, uma superfície com aderência insuficiente para o correto

desempenho dos revestimentos de argamassa. Ruduit (2009, p. 65), em sua pesquisa, em levantamento feito com dados de ensaios de resistência de aderência à tração no estado do Rio Grande do Sul, constatou que revestimentos de argamassa aplicados sobre substrato de concreto com resistência à compressão de 35 MPa apresentaram em média o valor de 0,2 MPa, sendo que a NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996b, p. 2) considera insuficientes as resistências de aderência à tração inferiores a 0,3 MPa. O mesmo autor relaciona tal ocorrência justamente com as novas técnicas construtivas como maiores deformações das estruturas, uso de desmoldantes, fôrmas mais lisas, concretos mais resistentes e menos permeáveis.

Devido à redução dos prazos de entrega das obras, os sistemas de revestimento de argamassa industrializada estão sendo bastante utilizados, devido a sua velocidade de produção, maior controle de qualidade do proporcionamento dos materiais e pelo bom desempenho a curto prazo observado. A grande utilização desse tipo de revestimento mostra que seu desempenho é satisfatório em curto prazo, porém não se tem registro sobre o seu comportamento a longo prazo. Sabe-se que as características do revestimento de argamassa alteram-se com o passar do tempo, resultando dessa forma uma variação no seu comportamento. Com isso, esse trabalho se propõe a avaliar o desempenho mecânico e de durabilidade de revestimentos de argamassa após envelhecimento acelerado.

Esse trabalho está dividido em 6 capítulos. O primeiro capítulo, relacionado à introdução, situa o tema do trabalho no contexto global e introduz ao assunto. Já o segundo capítulo, referente às diretrizes da pesquisa, direciona e delimita o trabalho, impondo objetivos e delineando a pesquisa. O terceiro capítulo, fruto de revisão bibliográfica, tem como objetivo fazer o registro do conhecimento existente sobre o assunto em trabalhos anteriores relacionados ao assunto, para direcionar e facilitar a etapa experimental, assim como para servir de apoio na análise de resultado. No quarto capítulo, denominado programa experimental, são definidos os materiais e métodos, assim como a preparação e ensaios realizados no trabalho. No quinto capítulo é feita a análise dos resultados referentes aos ensaios experimentais realizados em tal trabalho, comparando aos valores e situações encontrados na revisão bibliográfica. No sexto e último capítulo, faz-se as considerações finais relacionadas à parte experimental assim como o fechamento do trabalho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa a ser respondida é: como se comportam os revestimentos de argamassa industrializada sobre superfície de concreto estrutural quando submetidos a envelhecimento acelerado?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal desse trabalho é a avaliação do desempenho mecânico e de durabilidade dos sistemas de revestimentos de argamassa industrializada aplicados sobre substrato de concreto estrutural.

2.2.2 Objetivos secundários

Como objetivos secundários do trabalho tem-se a avaliação da influência:

- a) do tipo de sistema (chapisco e argamassa) na aderência à tração do revestimento, com e sem envelhecimento acelerado;
- b) do envelhecimento do revestimento, através de ensaio acelerado,
 - na aderência à tração;
 - no aparecimento de fissuras;
 - na alteração superficial da argamassa;

- c) do tempo de ensaio de envelhecimento acelerado no desempenho mecânico, durabilidade e alteração superficial das argamassas de revestimento.

2.3 HIPÓTESE

As hipóteses desse trabalho, relacionadas à variação no desempenho mecânico e à durabilidade dos revestimentos de argamassas industrializadas, são:

- a) os diferentes tipos de revestimento apresentam o mesmo nível de perda de desempenho mecânico quando submetidos ao envelhecimento acelerado;
- b) o envelhecimento acelerado proporciona uma redução da resistência de aderência à tração dos revestimentos argamassados pelo ensaio de arrancamento;
- c) o envelhecimento acelerado proporciona o aparecimento de fissuras, manchamento e degradação da superfície nos revestimentos argamassados.

2.4 PRESUPOSTO

O trabalho tem como pressuposto que os ensaios de aderência à tração e a análise tato-visual do aparecimento de fissuras e da alteração superficial da argamassa possibilitam mensurar o desempenho mecânico e quanto à durabilidade dos revestimentos de argamassa industrializada.

2.5 PREMISSA

O trabalho tem como premissa que a alteração dos materiais que compõem o sistema de revestimento de argamassa, assim como o período de exposição do revestimento ao ambiente, causam variações no desempenho dos revestimentos, muitas vezes causando um insuficiente desempenho, o que pode ocasionar acidentes e gastos adicionais nas edificações.

2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a utilizar o concreto estrutural como único substrato e argamassa industrializada para o revestimento.

2.7 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

- a) substrato de concreto estrutural de cimento Portland com apenas a resistência característica de 35 MPa;
- b) utilização de quatro sistemas de revestimento de argamassa industrializada empregados em Porto Alegre, sendo que a argamassa de chapisco e revestimento devem ser do mesmo fabricante para cada sistema;
- c) três diferentes períodos de envelhecimento acelerado assim como três períodos de envelhecimento em câmara climatizada;
- d) os revestimentos argamassados foram aplicados com as placas de concreto na horizontal.

2.8 DELINEAMENTO DA PESQUISA

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) planejamento dos experimentos da pesquisa;
- c) execução dos experimentos;
- d) análise dos resultados;
- e) considerações finais.

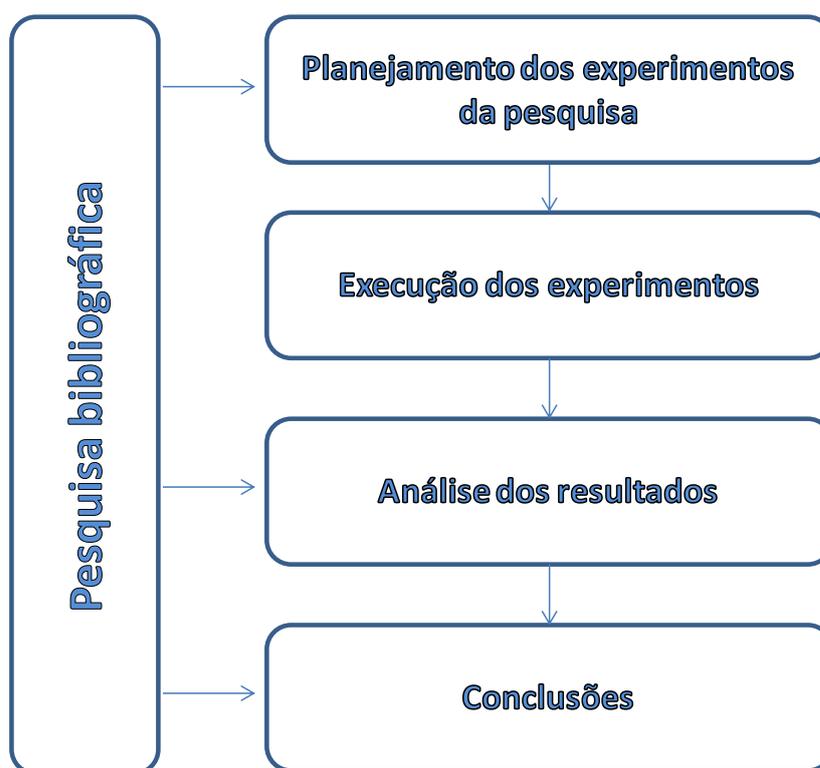
Essas etapas estão representadas esquematicamente na figura 1.

Definido o tema da pesquisa, o primeiro passo para o andamento do trabalho consiste na **pesquisa bibliográfica**, que visa dar o embasamento teórico mediante trabalhos anteriores já publicados sobre o assunto. Entende-se que essa etapa estende-se do início ao fim da pesquisa, devido à importância de manter contato e atualizar o material bibliográfico em todas as etapas.

O **planejamento dos experimentos da pesquisa** tem por objetivo definir as variáveis a serem estudadas, assim como, os métodos de ensaio necessários para possibilitar uma boa amostragem e relevância dos resultados. Com o planejamento da pesquisa definido, dá-se início à **execução dos experimentos**, que começa com a caracterização dos materiais para

posterior execução do substrato de concreto, aplicação do chapisco seguido da confecção da argamassa, sempre respeitando os períodos de cura necessária para os materiais. Após essas etapas, as amostras foram colocadas em câmara de envelhecimento acelerado e em câmara climatizada, ali permanecendo durante diferentes períodos de exposição. Concluiu-se a parte experimental com a execução dos ensaios de desempenho e de durabilidade do sistema em análise através dos ensaios de resistência de aderência à tração e análise tato visual.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Os ensaios experimentais geraram dados de caracterização dos materiais e desempenho dos sistemas analisados, com isso foi necessário fazer uma análise estatística dos dados para obter a significância dos resultados. Essa etapa foi definida como **análise de resultados**, na qual realizou-se uma análise comparativa entre as diferentes variáveis para comprovar estatisticamente a veracidade das hipóteses propostas. A etapa final denominada **conclusões** faz o fechamento do trabalho, analisando se os resultados obtidos foram consideráveis para provar que o envelhecimento acelerado causa fissuras e redução na aderência à tração dos revestimentos argamassados, assim como analisar a perda de desempenho dos diferentes tipos de argamassa utilizados.

3 SISTEMAS DE REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

O sistema de revestimento de argamassa pode ser considerado um elemento do sistema de vedação ou estrutural, com função de proteção e acabamento. Na NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995, p. 2), sistema de revestimento está definido como “Conjunto formado por revestimento de argamassa e acabamento decorativo, compatível com a natureza da base, condições de exposição, acabamento final e desempenho, previstos em projeto.”.

Segundo Moura (2007, p. 2):

O cobrimento em argamassa deve exercer as funções de proteção e acabamento estético aos elementos de estrutura e vedação das edificações. Como proteção, o revestimento deve garantir a estanqueidade à água e gases poluentes e isolamento térmico e acústico compatíveis com os requisitos de conforto. Como acabamento estético, o revestimento deve proporcionar a regularização das superfícies e deve dar, quando for o caso, um acabamento final satisfatório aos requisitos de estética.

Com isso, o sistema de revestimento de argamassa tem fundamental importância no desempenho técnico e estético da edificação, uma vez que é a principal barreira entre a parte interna e externa da edificação. Porém, devido à grande exposição que o revestimento é submetido, muitas vezes sua qualidade é comprometida, de modo que suas atribuições já não são cumpridas. Por isso é necessário seu correto dimensionamento, sendo esse feito através de projeto de detalhamento e especificação do revestimento.

O sistema de revestimento de argamassa é caracterizado pela presença de uma camada de argamassa aplicada sobre uma camada intermediária de preparação superficial chamada chapisco, a qual é aplicada sobre uma superfície de vedação ou estrutural. Essa superfície, também chamada de substrato, pode ser de alvenaria ou concreto e pode ter a função de vedação ou estrutural. Já o revestimento é composto por uma camada de argamassa de revestimento, que pode ser em uma camada única ou composto por reboco e emboço.

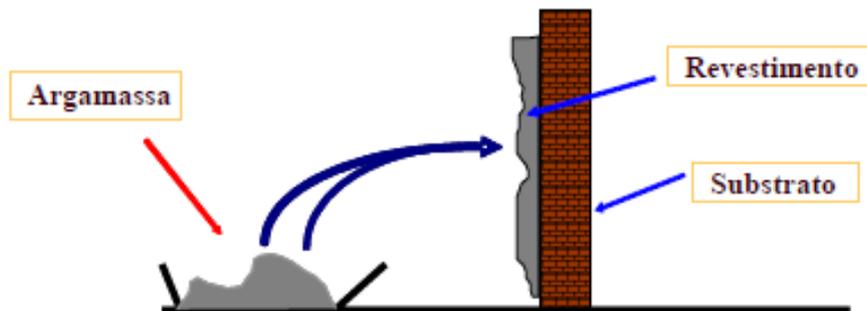
3.1. COMPONENTES

Para melhor entendimento do sistema de revestimento de argamassa, seus componentes serão detalhados separadamente. Entre eles estão a argamassa de revestimento, os diferentes tipos de argamassa de chapisco e o substrato.

3.1.1 Argamassa de Revestimento

A argamassa de revestimento é um componente do sistema de revestimento, uma vez que é utilizado como cobertura de um substrato e seu funcionamento está relacionado ao elemento de revestimento como um todo. DO Ó (2004, p. 8) explica esse fato tratando a argamassa de revestimento como material ainda no estado fresco, isto é, o material que ainda não foi aplicado no substrato. E, como revestimento, o material já aplicado ao substrato no estado endurecido, conforme ilustra a figura 2.

Figura 2 – Representação da conceituação de argamassa de revestimento



(fonte: BAUER¹, 1998 apud DO Ó, 2004, p. 8)

A NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995, p. 2), referindo-se ao revestimento, considera-o como “Cobrimento de uma superfície com uma ou mais camadas superpostas de argamassa, apto a receber acabamento decorativo ou constituir-se em acabamento final.”. A mesma Norma ainda refere-se à utilização do revestimento de argamassa em camada única e em camada dupla, composta por reboco e emboço.

Para Carasek (1996, p. 41), referindo-se às argamassas de revestimento, considera que são basicamente constituídas por ligantes, areia e água. Podem também, conter aditivos e adições,

¹ BAUER, E. **Dosagem de argamassa**. Brasília: Universidade de Brasília, 1998. Relatório técnico.

normalmente com a finalidade de plastificar a massa e melhorar outras características e propriedade específicas.

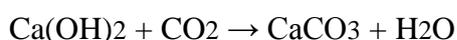
Segundo Gasperin (2011, p. 27), as propriedades das argamassas estão relacionadas às características dos materiais utilizados em sua composição e também aos fatores ligados às aplicações em campo, entre eles, o material sobre o qual a argamassa é aplicada, o método de mistura e às condições de umidade e temperatura. Essas características alteram alguns fatores que são fundamentais para o bom funcionamento do revestimento de argamassa, entre eles estão a trabalhabilidade, plasticidade, consistência e adesão inicial.

O comportamento relacionado ao ganho de resistência mecânica, e comportamento de tal fator ao longo do tempo, está muito relacionado ao tipo de aglomerante que é utilizado. Basicamente utiliza-se argamassa à base de cimento e cal, empregando os dois aglomerantes de forma que suas características combinadas melhorem o desempenho do revestimento.

O cimento proporciona, à argamassa, elevada resistência mecânica em pequenas idades, porém, baixa trabalhabilidade, baixa absorção de água, alta coesão e baixa resiliência. Já a cal, com processo de endurecimento lento, proporciona alta trabalhabilidade, alta resiliência, alta extensão de aderência e alta porosidade.

O processo de hidratação do cimento se dá no contato com a água, de forma que em um curto período de tempo após esse contato há formação de material resistente. O primeiro composto a reagir é o aluminato tricálcico (C₃A), responsável pela elevado calor de hidratação e baixa contribuição com a resistência mecânica, já o silicato tricálcico (C₃S), é o responsável pelas resistências iniciais, podendo ainda ganhar resistência ao longo dos anos, e o silicato bicálcico (C₂S), que apresenta grande formação de resistência mecânica, porém com velocidade inferior ao (C₃S).

Já para a cal, o processo de endurecimento se dá na reação entre o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e o gás carbônico (CO₂), formando carbonato de cálcio (CaCO₃) e água:



A velocidade da carbonatação depende da estrutura porosa da argamassa, assim como o ambiente no qual o revestimento está exposto, podendo levar anos para atingir seu potencial. Por isso é possível afirmar que há um ganho de resistência mecânica ao longo do tempo.

3.1.2 Argamassa de chapisco

Entre o substrato e a argamassa utiliza-se uma camada intermediária de argamassa denominada chapisco. Segundo Silva (2006, p. 7), o chapisco não é uma camada de revestimento, mas uma camada de preparação de base. A preparação de base é definida como um conjunto de técnicas que são realizadas na base para que proporcione a melhor aderência da argamassa ao substrato. Muitas vezes a superfície do bloco (cerâmico ou concreto), não favorece uma boa aderência, devido à baixa rugosidade superficial ou baixa/elevada absorção capilar. No caso do concreto armado, tem-se uma aderência insuficiente devido a baixa rugosidade superficial e baixa absorção capilar. Nesses casos, aplica-se o chapisco para se obter uma maior superfície de contato e uniformizar a absorção.

Segundo Ruduit (2009, p. 28), “A camada de chapisco, dentre suas características, tem a melhor resistência mecânica, o consumo de cimento superior, a pequena espessura de sua camada, a granulometria mais elevada de seu agregado miúdo e a molhagem da base.”. Com isso cria-se uma camada intermediária que regulariza o transporte de água da argamassa ao substrato, favorecendo a aderência devido ao transporte de grãos de cimento para os poros do substrato e também devido ao aumento da rugosidade gerada por essa camada.

Os tipos de chapisco existentes tem sua variação dada mediante sua forma de produção e aplicação. Basicamente são três os tipos de chapisco utilizados: convencional ou aplicado com colher, desempenado ou aplicado com desempenadeira e rolado ou aplicado com rolo. Esses tipos de chapisco são detalhados nos próximos itens.

3.1.2.1 Chapisco convencional ou aplicado com colher

Esse tipo de argamassa de chapisco é produzido em obra e pode ser aplicado tanto para áreas internas como externas, assim como para substratos de concreto ou alvenaria. Segundo Pretto (2007, p. 60), o chapisco convencional “Consiste em uma mistura de cimento, areia grossa e água, feita geralmente com o traço de 1:2 a 1:4 (em volume, areia úmida), de consistência fluída, lançada energicamente com colher de pedreiro contra a superfície a ser revestida.”. A

utilização desse tipo de chapisco se dá devido a sua simplicidade, facilidade de preparo e execução. A figura 3 ilustra o aspecto de uma superfície com chapisco convencional.

Figura 3 – Aspecto visual de uma superfície coberta com chapisco convencional



(fonte: foto do autor)

Segundo Moura (2007, p. 51), o chapisco convencional aplicado com colher de pedreiro, deve apresentar, em função da forma de aplicação, uma consistência fluída. Afirma que usualmente o proporcionamento utilizado de cimento:areia é de 1:3 (em volume, areia úmida), o que é condizente com a indicação de Pretto (2007, p. 60). Nessa argamassa pode-se usar aditivos para melhorar a característica desejada, obtendo assim uma superfície rugosa, uniforme, porém irregular.

Em sua pesquisa Ruduit (2009, p. 141), analisando o desempenho do revestimento perante o uso de argamassa de chapisco convencional com cimentos CPII e CPIV, constatou que chapisco com cimento CP II e traço 1:3 (cimento:areia) apresenta um desempenho melhor quando comparado ao uso de cimento CP IV e traço 1:2. O mesmo autor atribui esse fenômeno a maior resistência mecânica gerada com cimento CP II e maior teor de resíduos presentes no CP IV.

3.1.2.2 Chapisco desempenado ou aplicado com desempenadeira

O chapisco desempenado é uma solução alternativa ao convencional. Também chamado de chapisco colante ou adesivo aplicado com desempenadeira. Ao contrário do chapisco convencional, usa-se uma argamassa industrializada, que só necessita da mistura de água para

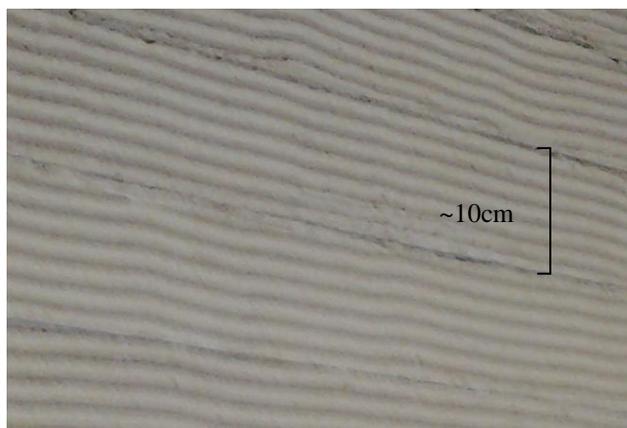
sua aplicação, porém é necessário que a indicação do fabricante para a quantidade de água seja respeitada. Sua utilização pode ser feita tanto em ambiente interno como externo. Caracterizado principalmente por oferecer uma boa aderência mecânica devido ao travamento e aumento da área de contato ocasionado pelos cordões de argamassa resultantes da sua aplicação com desempenadeira dentada. Para possibilitar a boa formação desses cordões é necessário que a argamassa de chapisco tenha trabalhabilidade adequada.

Esse tipo de chapisco é utilizado em superfície de concreto, em que a incidência de manifestações patológicas é mais frequente devido às características de baixa absorção e superfície lisa do substrato. Ruduit (2009, p. 33-34) faz as seguintes considerações sobre chapisco desempenado aplicado sobre superfície de concreto:

Os chapiscos adesivos aplicados com desempenadeira, também chamados de chapiscos colantes, geralmente são comercializados ensacados e prontos para receber a adição de água. São em especial indicados para aplicação em substratos pouco porosos, principalmente em superfícies de elementos estruturais de concreto, devido à sua alta adesão (quando fresco) e resistência de aderência (quando endurecido) a estes substratos.

A figura 4 ilustra uma superfície que recebeu aplicação de um chapisco desempenado.

Figura 4 – Aspecto visual da superfície com aplicação de chapisco desempenado



(fonte: foto do autor)

3.1.2.3 Chapisco rolado ou aplicado com rolo

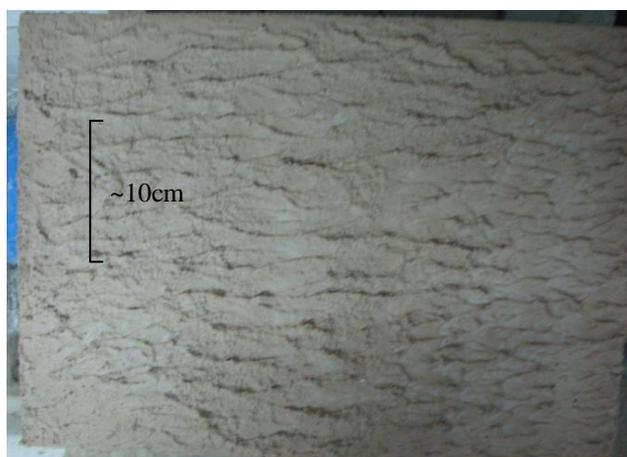
Esse tipo de chapisco apresenta duas formas de execução. Na primeira, todos os materiais, nas devidas proporções, são misturados em obra, já, na segunda, o produto é industrializado e os materiais já vêm misturados e ensacados, necessitando apenas da adição de água para completar a mistura.

Segundo Rudit (2009, p 31):

Os chapiscos rolados são aplicados com rolos de espuma que apresentam cavidades que propiciam a textura rugosa necessária a este tipo de camada de preparo. Antigamente estes rolos eram adaptados de rolos de pintura, onde as cavidades eram produzidas manualmente. Hoje em dia já são encontrados no mercado rolos com texturas apropriadas para a aplicação de chapisco rolado, já produzidos com as cavidades para texturização.

A figura 5 ilustra uma superfície com chapisco rolado.

Figura 5 – Aspecto visual superfície com aplicação de chapisco rolado



(fonte: foto do autor)

A vantagem da utilização desse tipo de chapisco está relacionada à sua boa produtividade, à facilidade de aplicação e a fatores ergonômicos, uma vez que em locais de difícil acesso é possível acoplar o rolo em um cabo. Há ainda a dificuldade de fazer uma dosagem adequada quando esse tipo de chapisco é preparado em obra, de forma que a forma industrializada se torna uma boa alternativa.

Segundo Rudit (2009, p. 32), esse material também apresenta desvantagens. A maior delas, possivelmente, é sua espessura, que pode ser muito fina, de modo a não possibilitar a regulação necessária da porosidade dos substratos. Uma alternativa de resolução desse problema é o aumento do número de camadas de chapisco, de modo a compor o chapisco por camadas, porém essa alternativa diminui a produtividade do material, uma vez que a aplicação de várias camadas sobrepostas diminui a área aplicação por volume de material.

3.1.3 Substrato

Para poder utilizar o revestimento de argamassa, é necessário que haja uma base para aplicar tal material, essa base é chamada de substrato e pode ser de vedação ou estrutural. Esse trabalho enfatiza o uso de concreto estrutural, que, por ter porosidade menor que os demais substratos, pode ser considerado o substrato com pior desempenho e é o alvo desse estudo. A NBR 13529 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995, p. 1), considera que o substrato de uma edificação pode ser “Parede ou teto constituídos por material inorgânico, não metálico, sobre os quais o revestimento é aplicado.”.

Segundo Silva (2006, p. 9), o substrato tem muita importância no desempenho do revestimento principalmente no que tange às suas propriedades físico-mecânicas, entre as quais se pode citar: textura superficial, absorção capilar, porosidade e movimentação higroscópicas irreversíveis. Essas propriedades se refletem diretamente no revestimento de argamassa e podem ser sentidas e mensuradas nos ensaios de aderência à tração, resistência ao cisalhamento, formação de fissuras.

Para o revestimento apresentar bom desempenho como sistema, é necessário que o substrato apresente algumas características, entre elas está a porosidade adequada. Com o desenvolvimento do concreto armado, assim como a necessidade de aumentar vãos e diminuir seções, há um aumento na resistência à compressão do concreto, o que ocasiona uma redução na porosidade do mesmo, com isso, há diminuição da aderência entre substrato e revestimento.

Outro fator que reduz o desempenho do revestimento em substrato de concreto armado é a utilização de desmoldantes nas formas. Segundo Pretto (2007, p. 43), “A aplicação do desmoldante puro pode formar uma camada muito espessa de óleo. Embora facilite a etapa de desforma, posteriormente, o excesso que penetra pelos poros do concreto pode deixá-lo hidrófugo, diminuindo a aderência da argamassa.”. Para isso é necessário um apropriado tratamento de remoção do desmoldante ou tratamento superficial da superfície de concreto a partir da lavagem com água quente, apicoamento, lixamento ou escovação.

3.2 ADERÊNCIA DOS REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA

A aderência dos revestimentos é uma propriedade muito importante, pois diferentemente das propriedades do estado fresco e endurecido, ela tem ligação direta com o desempenho do sistema e os ensaios de determinação de desempenho analisam esse fator. Segundo Carasek (1996, p. 9), o termo aderência é usado para descrever a resistência e a extensão do contato entre argamassa e uma base porosa, sendo esta base o substrato. A aderência tem comportamento relativo aos materiais e características dos materiais utilizados tanto nas camadas de revestimento quanto no substrato, por isso a variação dos materiais utilizados modifica o desempenho do revestimento. É importante também salientar a importância da aderência entre as camadas de argamassa de chapisco e argamassa e de revestimento.

Vários são os fenômenos e mecanismos que propiciam a aderência, e normalmente estão relacionados a algumas características dos materiais. Segundo Antunes (2005, p. 25), as resistências mecânicas são resultantes do conjunto de penetração nos poros, ligações de superfície e resistência mecânica da própria argamassa, enquanto a extensão de aderência é a razão entre a área de contato efetivo e a área total possível de ser unida, ou seja, o grau de contato entre a argamassa e a base.

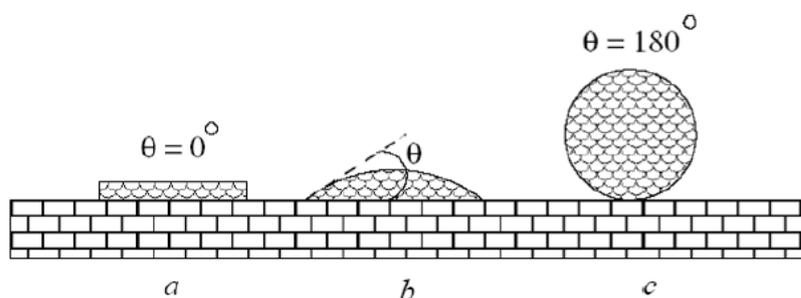
A variação da quantidade de água livre presente entre a argamassa e o substrato gera um transporte de fluido entre as camadas do sistema de revestimento. “A formação de aderência é um mecanismo complexo que envolve o transporte de massa (sólidos e líquidos) na argamassa e na interface com a base que, juntamente com a hidratação do cimento, influenciam a cinética do endurecimento.” (ANTUNES, 2005, p. 25). Nos próximos itens serão detalhados os mecanismos de aderência.

3.2.1 Adesão inicial

Segundo Carasek (1996, p. 10), a adesão inicial das argamassas de revestimento, sendo uma propriedade referente ao estado fresco, é diretamente influenciada pelas características das argamassas. Já para Moura (2007, p. 25), relacionada às características dos materiais, a influência das características reológicas na tensão superficial e a influência desta na força de adesão pode ser melhor entendida pela teoria das ligações interfaciais entre um líquido (a pasta da argamassa) e um sólido (substrato).

Como a argamassa pode ser considerada como líquido para esse caso, Paes (2004, p. 11) definiu como um conceito primordial a **molhabilidade**, que segundo a autora é a extensão na qual o líquido se espalhará sobre uma superfície sólida. Uma adequada molhabilidade significa que o líquido fluirá sobre o sólido cobrindo cada reentrância do mesmo e retirando todo o ar entre eles (figura 6).

Figura 6 – Condições de molhabilidade de uma superfície para diferentes ângulos de contato θ . (a) superfície superdrófila, $\theta=0^\circ$; (b) superfície com molhabilidade parcial, $180^\circ>\theta>0^\circ$; (c) superfície superhidrofuga, $\theta=180^\circ$



(fonte: PRETO, 2007, p. 26)

A redução da tensão superficial da argamassa causa uma diminuição no ângulo de contato, que pode ser ocasionado pelo aumento da plasticidade. Com uma argamassa mais plástica, há o melhor espalhamento da argamassa sobre a superfície, fazendo com que o ângulo de contato seja o menor possível. Por isso, é possível afirmar que quanto menor for o ângulo de contato maior será a adesão inicial.

Outro mecanismo importante para a adesão inicial é a adsorção, Paes (2004, p. 14) reitera que os materiais irão se aderir devido forças interatômicas e intermoleculares que são estabelecidas nas superfícies dos adesivos e dos sólidos, após um contato molecular íntimo. As moléculas e átomos podem se ligar de duas maneiras a uma superfície sólida: pela adsorção física com a interação das forças de Van der Waals e pela adsorção química, quando podem ser formadas ligações químicas.

3.2.2 Aderência

Segundo Carasek (1996, p. 12-13), a aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, devido, basicamente, à penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre as rugosidades da base de aplicação. Quando a

argamassa no estado plástico entra em contato com a superfície absorvente, o substrato, parte da água de amassamento, que contém em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, penetra pelos poros e cavidades do substrato.

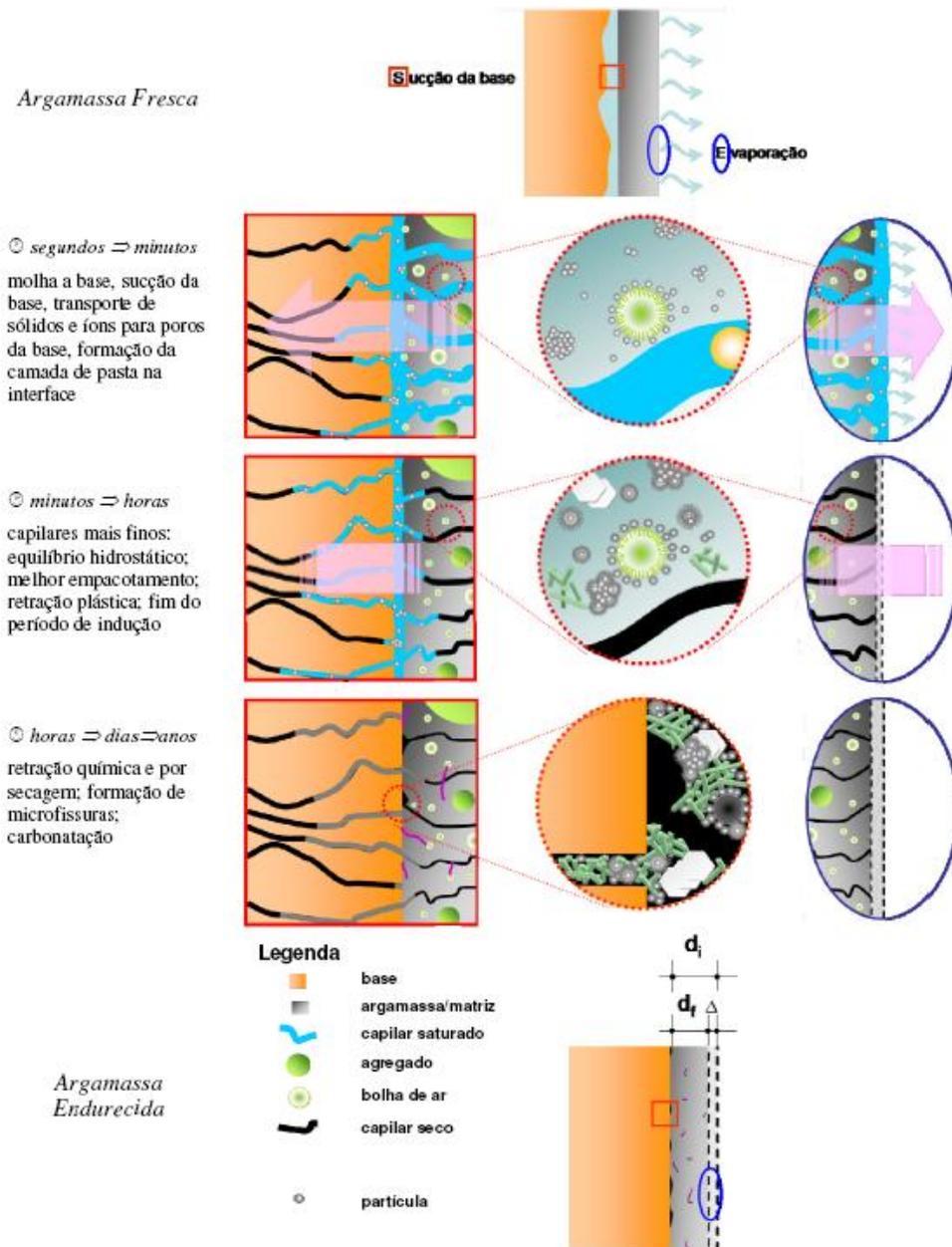
Carasek (1996, p. 18) também propõe que os vazios dos materiais sólidos apresentam formas e dimensões variadas sendo de maior interesse no mecanismo de aderência os condutos abertos de dimensão capilar, também chamados de poros capilares, tendo em vista que eles têm potencial capacidade de succionar água das argamassas. Para Scartezini (2002, p. 20), são considerados poros ativos aqueles que possuem força capilar suficiente para exercer a ação de sucção de água.

Segundo Moura (2007, p. 26), o transporte de água pode ser explicado pela teoria dos poros ativos, que relaciona a capilaridade e a conseqüente capacidade de absorção dos substratos e a capacidade de retenção das argamassas. Na figura 7, está ilustrada a teoria dos poros ativos.

A primeira linha da figura 7 mostra o funcionamento desse mecanismo relacionado nos primeiros momentos de exposição entre segundo e minutos. Nesse período, para Antunes (2005, p. 29), durante a sucção de partículas, íons são levados para o interior dos poros da base. A quantidade e a espécie química desses elementos transportados irão determinar a densidade e o tipo de microestrutura formada desde os poros até a interface. A etringita é um dos primeiros hidratos a se cristalizarem devido à grande concentração de íons sulfato, cálcio e aluminatos nos primeiros instantes da hidratação do cimento.

Na segunda linha, da mesma figura, relacionado a minutos e horas, que mostra o momento em que o equilíbrio entre sucção capilar e as forças físico-químicas de retenção de água é alcançado. O aperto mecânico das partículas no interior da argamassa é tal que o raio médio dos seus capilares se torna igual aos capilares da base, interrompendo com isto o fluxo de água por sucção.

Figura 7 – Modelo de aderência da argamassa ao substrato



(fonte: ANTUNES, 2005, p. 24)

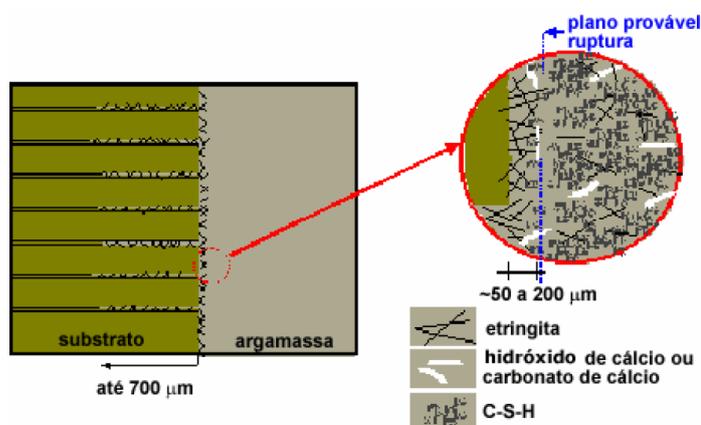
Com o passar do tempo, apresentado na terceira linha da figura 7, relacionado à horas, dias e anos, segundo Antunes (2005, p. 32), ocorre a retração química quando a maior parte do silicato de cálcio for hidratada. De acordo com as condições do ambiente (temperatura e umidade) e da base, ocorrerá também a retração por secagem. A magnitude dessa retração será função da iteração da água que saiu do sistema com a microestrutura da argamassa. A retração pode causar redução na aderência e na coesão devido à microfissuração.

3.2.3 Microestrutura da interface substrato/revestimento

Para Moura (2007, p. 28), “Além da intensidade e profundidade da ancoragem da argamassa ao substrato, outro fator determinante na resistência de aderência é a conformação da interface substrato/revestimento, seja como resultado do transporte de água ou em função da extensão de aderência.”. A mesma autora ainda afirma que a caracterização da interface pode ser em função dos componentes presentes nela.

Carasek (1996, p. 205), concluiu que a aderência é um fenômeno mecânico decorrente do intertravamento de cristais de etringita no interior dos poros do substrato. A figura 8 ilustra tal afirmativa. Para isso é necessário o contato com o substrato, fato verificado por Carasek (1996, p. 211), que concluiu em seu trabalho que a pouca trabalhabilidade não favorece a extensão de aderência, uma vez que, argamassas mais secas tem deficiência de penetração nas reentrâncias do substrato.

Figura 8 – Representação esquemática do mecanismo de aderência entre argamassa mista de cimento, cal e areia e blocos cerâmicos



(fonte: CARASEK, 1996)

Segundo Paes (2004, p. 27-28), o aumento local da concentração de etringita surge quando, ao se misturar o cimento Portland com água, a gipsita empregada como reguladora de pega do cimento dissolve e libera íons sulfato e cálcio. Na dissolução do sulfato e do cálcio, assim como na precipitação da etringita, os poros capilares são preenchidos, o que explica sua maior abundância na zona de contato argamassa/substrato e em poros superficiais da base.

3.3 PROPRIEDADES DA ARGAMASSA

As argamassas apresentam diferenças devido aos materiais nela presentes. O conhecimento das propriedades serve para entender e justificar o comportamento do revestimento sobre determinada circunstância. Segundo Gasperin (2011, p. 50), para garantir o bom desempenho e gerar durabilidade e as funções atribuídas ao revestimento, as argamassas de chapisco e revestimento devem apresentar algumas propriedades específicas.

Para Do Ó (2004, p. 9), “O conhecimento das propriedades da argamassa no estado fresco e dos fatores que a influenciam são fundamentais para a produção de uma argamassa de revestimento com características controladas.”. Já as propriedades do estado endurecido, servem para controle e verificação das características da argamassa dentro de um sistema de revestimento.

As argamassas podem apresentar diferentes características devido a variação dos materiais nelas contidos. Suas propriedades servem como controle das características das argamassas, para gerar um bom desempenho. Serão analisadas as características primeiramente para o estado fresco e posteriormente para o estado endurecido.

3.3.1 Estado fresco

As propriedades para o estado fresco são analisadas entre o momento de mistura dos materiais e aplicação da argamassa no substrato. As principais propriedades das argamassas de revestimento são para o estado fresco: consistência, plasticidade, trabalhabilidade, retenção de água e ar incorporado.

3.3.1.1 Consistência

A consistência é um dos fatores que condiciona a trabalhabilidade. Araújo (2001, p. 10) explica que o índice de consistência de uma argamassa no estado fresco pode ser entendido como a capacidade da mesma de resistir a deformações quando submetida a ações de cargas externas. O mesmo autor ainda classifica as argamassas como seca, plástica ou fluída. Na argamassa seca, com pouca quantidade de água e maior atrito entre os materiais constituintes. Na argamassa plástica, a pasta atua como lubrificante dos grãos, o que facilita na movimentação dos materiais. Na argamassa fluída os grãos ficam imersos na pasta.

Bauer² (2001 apud DO Ó, 2004, p. 10) afirma que a consistência pode ser definida através de algumas propriedades reológicas, tais como, a viscosidade, dilatância e estruturação interna. A dilatância e a estruturação interna do material exercem influências significantes, já que quanto maiores o efeito desses, mais elevada será a viscosidade e a consistência do material.

Para Alves (2002, p. 41), a presença de ar incorporado nas argamassa provoca um aumento da consistência e plasticidade, esse ganho se deve ao “efeito ponte”, existente entre as bolhas de ar e as partículas de cimento. Gasperin (2011, p. 52), sobre tal assunto, afirma que “Além da influência dos agregados, outra forma de modificar a consistência de uma argamassa está na introdução de aditivos do tipo retentos de água e incorporador de ar.”.

Do Ó (2004, p. 10) ainda afirma que “A consistência pode ser influenciada pelo tipo, forma e características textuais do agregado, apesar de não haver trabalhos conclusivos que quantifiquem tal influência.”. Para Silva (2006, p. 25), a consistência também é influenciada pelo teor de finos, uma vez que aumentam a compacidade da pasta de argamassa.

A influência causada pela consistência na argamassa de revestimento no estado fresco antes da aplicação refere-se à prevenção da segregação durante seu transporte, assim como, no agarramento à colher de pedreiro durante a etapa de aplicação. Para a argamassa recém aplicada, a consistência tem a função de resistir às deformações provenientes de seu peso próprio, evitando descolamentos (DO Ó, 2004, p. 11).

3.3.1.2 Plasticidade

Para Carasek (1996, p. 53), “Consistência e plasticidade são os principais fatores condicionantes da trabalhabilidade.”. Por isso é possível afirmar que em argamassa pouco trabalháveis, além da dificuldade de aplicação, tem-se o problema relacionado à falta de contato da argamassa com o substrato, com isso o revestimento não consegue apresentar seu desempenho potencial.

Os conceitos de consistência e plasticidade, normalmente, são confundidos devido sua similaridade. A consistência esta relacionada à capacidade de manter-se unida devido forças externas, evitando assim a segregação, e plasticidade está relacionada a capacidade de

² BAUER, E. **Estudo dos aditivos para argamassa de revestimento**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001. Relatório técnico.

espalhamento da argamassa. Um bom revestimento de argamassa deve apresentar consistência suficiente para não desagregar-se, e plasticidade adequada para espalha-se sobre o substrato.

Carasek (1996, p. 52) afirma que “A trabalhabilidade da argamassa define, entre outros, a sua habilidade em fluir ou espalhar-se em toda a área da face do componente de alvenaria, por suas saliências, protuberâncias e fissuras.”. Ou seja, a capacidade de aderência está relacionada ao contato entre a argamassa e o substrato que é facilitado por uma plasticidade adequada.

Para Do Ó (2004, p. 12), em relação aos constituintes da argamassa, propõe que “Da mesma forma que a consistência, a plasticidade é influenciada pelo teor de ar incorporado, teor de água, natureza e teor do aglomerante e intensidade de mistura das argamassas.”. A plasticidade, assim como a consistência pode ser definida como a propriedade de manter a deformação de forças externas, conforme pode ser observada na figura 9.

Figura 9 – Aspecto visual da plasticidade na argamassa: (a) argamassa com presença de ruptura nas laterais. (b) argamassa sem presença de ruptura.



(a)



(b)

(fonte: DO Ó, 2004, p. 11)

Para Carasek (1996, p. 52), “[...] a maneira de corrigir a trabalhabilidade, da argamassa é alterar a água de amassamento. Já a plasticidade é também influenciada pelo teor de ar incorporado, pelos tipos e quantidades de aglomerantes e agregados, pelo tempo e intensidade da mistura e pela presença de aditivos.”. Já Do Ó (2004, p. 13), afirma que a argamassa tem uma plasticidade adequada quando preencher as saliências, protuberâncias da base e fissuras, e conseguir manter-se na posição que foi aplicada.

3.3.1.3 Retenção de água

Devido à necessidade da argamassa apresentar-se trabalhável durante um determinado período de tempo, para facilitar sua aplicação e sua adesão, é necessário que ela não perca água rapidamente para o ambiente. Por isso, Carasek (1996, p. 56) afirma que “Para que as argamassas de assentamento e revestimento apresentem desempenho adequado após o endurecimento, é necessário que elas possuam uma capacidade mínima de retenção de água.”.

Do Ó (2004, p. 19), caracteriza a retenção de água da seguinte forma:

A retenção de água corresponde à propriedade que confere a argamassa a capacidade dessa não alterar seu comportamento reológico de modo a comprometer propriedades de trabalhabilidade, mantendo-se aplicável por um período máximo de tempo quando sujeita a solicitações que provoquem perda de água seja ela por evaporação, sucção do substrato ou reações de hidratação.

Tristão (1995, p. 11) afirma que a retenção de água das argamassas de revestimento interfere no tempo disponível para aplicação, regularização e desempenho das argamassas, também influi em algumas propriedades da argamassa no estado endurecido. Isto porque, segundo o autor, interfere nas condições de hidratação do cimento e carbonatação da cal, que são os responsáveis pelo endurecimento da mistura.

Gasperin (2011, p. 97), referindo-se a granulometria dos agregados, afirma que materiais com granulometria contínua e bem graduada, apresentam maior retenção de água que agregados mal graduados, isso porque parte da água fica retida pelo agregado por adsorção superficial ou aprisionamento entre vazios. Com isso pode-se afirmar que a retenção de água é influenciada pelas características morfológicas do agregado. Esse fator está relacionado à plasticidade e consistência, parâmetros importantes para adesão da argamassa ao substrato.

O aumento da retenção de água pela argamassa causa um aumento na resistência de aderência do revestimento devido ao controle da passagem de água para o substrato ou para o ambiente, fazendo com que o revestimento não perca a água necessária para hidratação do cimento. Segundo Do Ó (2004, p. 21-23), o aumento da retenção de água da argamassa pode ser conseguido de várias formas, entre elas destacam-se a utilização de materiais com elevada área específica, uma vez que a maior área molhada aumenta a tensão superficial, aumentando a capacidade de manter a água adsorvida nas partículas. Da mesma forma, a cal, devido sua

elevada área superficial também funciona como retentor de água. Outra alternativa é utilizar aditivos retentores de água que impedem a perda de água, normalmente derivados da celulose.

3.3.1.4 Ar incorporado

Do Ó (2004, p. 15) define ar incorporado como quantidade de ar existente em um certo volume de argamassa, cuja forma da bolha de ar estável com aspecto de esferas microscópicas, resultantes da adição de incorporadores de ar. Já para Moura (2007, p. 39), “O teor de ar incorporado nas argamassas, como a própria nomenclatura caracteriza, refere-se às bolhas de ar que são incorporadas à mistura, diferenciando-se daquelas que são decorrentes dela (ou da evaporação de água) o que caracterizam o ar aprisionado.”.

Segundo Alves (2002, p. 43), o teor de ar incorporado possui influências significativas tanto no estado fresco como no estado endurecido, alterando muitos aspectos da argamassa. Em seu trabalho, analisando a influencia da utilização de aditivos incorporados de ar nas argamassas de revestimento, o autor constatou que ao acrescentar o aditivo há uma diminuição da densidade de massa, aumento da trabalhabilidade e que quanto maior o teor de ar incorporado menor é a resistência de aderência à tração das argamassas.

A possível redução de aderência obtida em argamassa com ar incorporado pode ser atribuída à diminuição da área de contato com o substrato. Porém, Carasek (1996, p. 49) afirma que “Aditivos que incorporam bolhas de ar menores do que 100 μm podem agir como plastificantes na argamassa fresca sem prejudicar a aderência, porque permitem grande número de pontos de contato entre a argamassa e o substrato.”.

3.3.2 Estado endurecido

As principais propriedades para o estado endurecido são: capacidade de absorver deformações, resistências mecânicas e absorção. Essas propriedades são importantes para o conhecimento do desempenho e durabilidade do revestimento.

3.3.2.1 Capacidade de absorver deformações

Segundo Carasek (1996, p. 14), a capacidade de absorver as deformações é um fator importante para o revestimento de argamassa e enaltece que:

A capacidade de deformação da argamassa endurecida e a durabilidade da aderência são propriedades intrinsecamente relacionadas. Os revestimentos devem apresentar adequada capacidade de deformação para que, caso ocorram pequenos movimentos da alvenaria ou da estrutura, a camada de argamassa possa se deformar o suficiente sem se romper ou para que, no máximo, se reproduzam microfissuras, não havendo assim o comprometimento da aderência, bem como da estanqueidade e da durabilidade.

A forma de mensurar a capacidade de deformação de um revestimento é através do módulo de deformação relacionado ao material utilizado. De acordo com Bastos (2003, p. 30), o módulo de deformação representa a relação entre um determinado nível de tensão aplicado em um corpo e a deformação nele existente por conta desta tensão, sendo de grande importância para as argamassas de revestimento. A propriedade módulo de deformação está relacionada à manifestação patológica da fissuração do revestimento, sendo um indicativo da fissuração ou não do revestimento para determinadas condições. Para que não ocorra fissuração no revestimento é esperado que haja a combinação de certas condições como, retração mínima, resistências mecânicas compatíveis e deformabilidade adequada.

3.3.2.2 Resistências mecânicas

Diferentemente da capacidade de deformação, a resistência mecânica está relacionada à capacidade de resistir determinado esforço a ela imposto. Esses esforços normalmente são tração, compressão e cisalhamento, podendo ocorrer a combinação desses esforços.

Segundo Moura (2007, p. 40), mesmo a resistência mecânica não sendo uma propriedade fundamental e determinante para a argamassa de revestimento como é no concreto, tem sua importância devido relações com outras propriedades. Entre as principais estão a capacidade de suportar esforços de tração, compressão e cisalhamento, já a capacidade de absorção e permeabilidade estão relacionadas à porosidade dada pela resistência.

Segundo Moura (2007, p. 41), a resistência mecânica é inversamente proporcional à porosidade do material. Com isso, argamassas com maior resistência mecânica não têm

capacidade para absorver deformações. Segundo Carneiro³ (1993 apud MOURA, 2007, p. 41), quando os esforços de tração atuantes sobre o revestimento superam a sua resistência à tração, surgem fissuras. Afirmação que reforça que a capacidade de deformação é proporcional ao esforço aplicado.

Dentre os esforços atuantes no revestimento, encontram-se aqueles gerados pela retração da própria argamassa durante o processo de endurecimento. Esse fenômeno também está relacionado com a resistência mecânica das argamassas, uma vez que quanto maior a resistência mecânica, maior a retração e conseqüentemente a possibilidade de fissuração (MOURA, 2007, p. 41).

3.3.2.3 Absorção

A absorção de água pode ser considerada uma propriedade de transporte interno de água da argamassa. Para Moura (2007, p. 43), “A absorção das argamassas de revestimento é uma propriedade no estado endurecido que, diferente da resistência à compressão, é influenciada apenas pelos vazios capilares (poros interconectados e superficiais), seu tamanho e continuidade, e não pela porosidade total.”

De acordo com Kuo et al.⁴ (2006 apud GASPERIN, 2011, p. 57), os poros capilares são poros relativamente grandes, formados pelos espaços anteriores preenchidos de água, que restaram após a evaporação ou utilização desta água para as reações de hidratação do cimento, e sua formação é, portanto, fortemente influenciada pela relação água/cimento. Além disso, os mesmos autores afirmam que por serem poros interligados, estes possibilitam maior suscetibilidade a penetração de agentes agressivos no interior das argamassas.

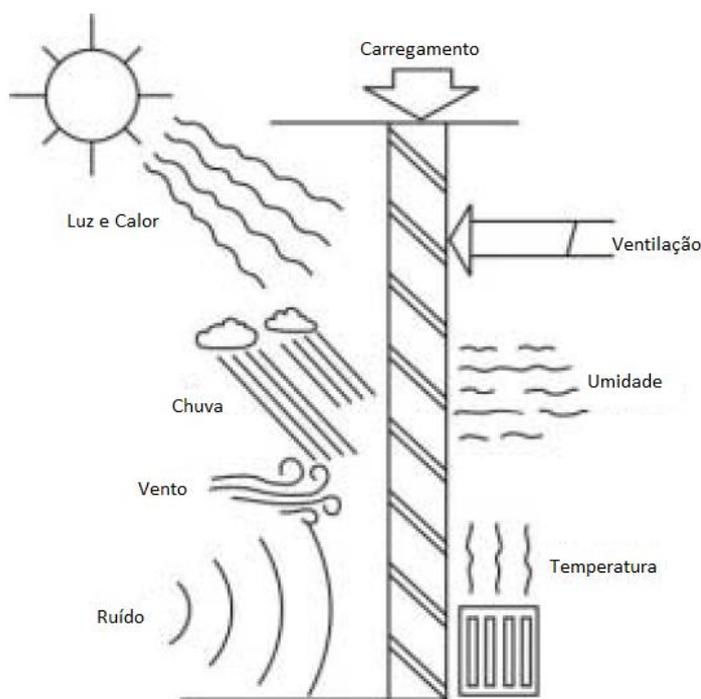
³ CARNEIRO, A. M. P. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia**: sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre. 1993. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1993.

⁴ KUO, W.; HUANG, J; LIN, C. Effects of organo-modified montmorillonite on strengths and permeability of cement mortars. **Cement and Concrete Research**, n. 36, p. 886-895, 2006.

3.4 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Além dos mecanismos de aderência gerados pela interação entre os substratos e argamassas de revestimento, já mencionados anteriormente, existem fatores externos que modificam as propriedades dos elementos, alterando assim o funcionamento desses mecanismos. A figura 10 ilustra os fatores externos de desempenho

Figura 10 – Fatores externos de desempenho



(fonte: CINCOTTO⁵, 1988 apud VIEIRA, 2006, p. 5)

Os agentes ambientais de degradação sempre estiveram e estão atuando sobre as edificações, por isso é importante aprender a conviver com eles e prever soluções para diminuir suas ação. Os processos naturais diários, como chuva, vento, sol e variação térmica são os principais fatores naturais de degradação, sua manifestação não é imediata, e sim um processo combinado ao longo do tempo que ocasiona a alteração da característica do materiais, alterando assim seu desempenho.

⁵ CINCOTTO, M. A. **Argamassas de revestimento**: características, propriedades e métodos de ensaio. São Paulo: Pini, 1988. Boletim técnico n. 68.\

Vieira (2006, p. 43) ainda afirma que “O conhecimento dos fatores ambientais de degradação é importante para a execução de projetos e especificações para fachadas, que proporcionem maior durabilidade às edificações.”. Isso é provado uma vez que a grande incidência de manifestações patológicas nos revestimentos externos é gerada porque a fachada funciona como elemento regulador das iterações dos espaços internos e externos e atua como anteparo aos agentes agressivos do meio ambiente. A seguir serão detalhados os agentes físicos responsáveis pela degradação.

3.4.1 Chuva

A chuva é um fenômeno variável em relação à intensidade, duração e frequência. Para revestimentos e detalhes construtivos, sua presença está relacionada à presença de manifestações patológicas, as quais podem ser de ordem direta, como é o caso dos manchamentos e erosão química, e de forma indireta, que pode ser o comportamento do revestimento com presença de água em seus poros ou vazios.

Relacionado aos manchamentos, para Petrucci (2000, p. 22), “O vento é o encarregado de impulsionar a água da chuva para os obstáculos situados fora da vertical de sua trajetória com ar em calma. As superfícies se lavam pela ação da água de chuva direta e da água, originada desta, que termina por escorrer sobre seus planos.”. Poyastro (2011, p. 62), argumenta sobre o assunto, afirmando que a capacidade de arraste da sujidade dependendo volume da água, assim como o grau de aderência das partículas.

Para a erosão química, que pode ser considerado um fator de menos intensidade, mediante a erosão causada pela poluição atmosférica, é causada na combinação entre chuva e vento, em que a dissolução pela água do material da fachada, reforça a ação abrasiva. Para Poyastro (2011, p. 62), o deslocamento da água sobre a superfície adere elementos sólidos ao seu fluxo, aumentando o poder abrasivo.

Relacionando os demais fatores agressivos, que devido à retração, ou aberturas ocasionadas pelo ciclo de variações térmicas, formam fissuras ao longo de sua extensão, ou frestas entre a camada de substrato e revestimento. No momento que houver precipitação combinada com o vento, essas fissuras tendem a permitir o acesso da água da chuva para interface das camadas. A água ou os poros preenchidos com material líquido, quando submetidos à variação térmica,

tendem a apresentar expansão ou evaporação, criando assim uma força interna entre a camada revestimento e substrato, que pode causar a desagregação do revestimento junto ao substrato.

A chuva incidindo de forma vertical, não oferecem grandes problemas, pois pequenas saliências na superfície propiciam o descolamento da água, protegendo a superfície da umidade. Por isso, a pior situação da incidência de chuva é relacionada ao vento, quanto maior o ângulo de incidência maior será a área molhada.

3.4.2 Vento

Normalmente a degradação do vento está relacionada ao transporte de materiais, principalmente água, porém há situações que o vento é diretamente degradante. A ação do vento em cantos e mudanças de sentido ocasiona um aumento de pressão e formação de vórtices, que exerce uma força de arrancamento sobre o revestimento, também é possível que dessa forma o vento arranque partículas da superfície, iniciando assim a degradação do revestimento.

Segundo Petrucci (2000, p. 14):

O vento (por sua velocidade e direção) serve de veículo às partículas sujas, à água de chuva, e atua, com sua própria força e a energia cinética das partículas que transporta, na modificação da distribuição da sujeira depositada sobre as superfícies das fachadas. Na dispersão e transporte das partículas contaminantes pode beneficiar áreas próximas das fontes de emissão ou prejudicar áreas muito distantes, expondo-as aos efeitos da contaminação.

Além da ação conjunta que o vento exerce com a chuva para molhar uma superfície, quando o ambiente está com baixa umidade esse vento ajuda na secagem, caracterizando um ciclo de molhagem e secagem da superfície. Tanto o vento seco como o vento úmido transportam matérias sujas e poluentes, que se depositam nas superfícies externas das edificações, causando assim manchamentos e degradação da camada de revestimento.

Em analogia à distribuição de pressão do vento, esperava-se que a água se comportasse da mesma forma em momentos de chuva e vento combinados, porém em sua pesquisa, Poyastro (2011, p. 168), constatou que esse comportamento não ocorre, os padrões de molhabilidade não acompanham a distribuição de pressões do vento. Outro fenômeno que a autora constatou foi que na incidência de chuva, edificações com entorno não são favorecidas e sim

prejudicadas. Com a atual verticalização das edificações fica visível a maior exposição das edificações à chuva.

3.4.3 Radiação solar

A radiação solar é considerada um agente agressivo não somente pelo seu comportamento isolado, mas principalmente pelo efeito que causa quando combinado com os demais fatores. Segundo Vieira (2006, p. 46), a luz do sol é um agente destrutivo principalmente pelo componente ultravioleta, uma vez que as radiações UV provocam a foto-oxidação.

Para Blessmann (1998, p. 9), “A energia do sol atinge a Terra sobre a forma de ondas eletromagnéticas de diversos comprimentos de onda. A maior parte desta energia não é calorífica, mas uma boa parte transforma-se em calor ao ser absorvida pela superfície da Terra.”. Vieira (2006, p. 45), salienta que a irradiação do calor proveniente da energia solar na crosta terrestre, juntamente com a incidência direta da energia solar, causa aumento térmico na superfície dos materiais, fato que pode ser considerado o principal causador de danos nas edificações.

A irradiação varia com as características dos materiais constituintes da argamassa. A taxa de fluxo depende das características de absorvância (α) e emitância (ϵ) das superfícies. Sendo que o aumento da temperatura da superfície é proporcional ao aumento da absorvância. (VIEIRA⁶, 2006, p. 46). Teoricamente, um corpo negro apresenta o valor máximo de absorvância, já um corpo branco apresenta valor mínimo, conseqüentemente quanto mais próximo a um corpo negro maior será a temperatura superficial.

3.4.4 Variação térmica

A variação térmica normalmente é considerada um fator de degradação, porém para um caso específico pode ser considerada positiva para o revestimento. Segundo Moura (2007, p. 56), “A influência da temperatura no processo de cura está não em favorecer ou inibir o processo de hidratação, mas em ditar a velocidade deste processo.”.

⁶ Vieira (2006) indica como referência a apostila da disciplina Edificações e Comunidades Sustentáveis, ministrada pelo professor Miguel Aloysio Sattler, no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ano 2003.

Já para Temoche (2009, p. 62), relacionado à questão mecânica da variação térmica, “Quando a variação de temperatura é muito rápida, a taxa de carregamento no material é alta; portanto, a propagação das deformações de origem térmica no material dependerá da velocidade de resposta do mesmo, até atingir o equilíbrio.”. O uso do termo taxa de carregamento faz analogia às forças internas geradas pela dilatação ou retração causadas na variação térmica.

Também segundo Temoche (2009, p. 49), a radiação solar promove o aquecimento superficial do revestimento durante o dia e, à noite, ocorre o seu resfriamento devido à emissão térmica. Essa variação cíclica de temperaturas associada às tensões e deformações produzidas em cada ciclo pode desencadear um processo de fadiga do revestimento, principalmente em seu mecanismo de aderência.

Para Vieira⁷ (2006, p. 52):

A variação de temperatura causa mudanças físicas nos materiais de construção. A mudança dimensional, dilatação e retração, que ocorre com o aquecimento e resfriamento dos materiais, respectivamente, é a principal causa de manifestações patológicas causadas por temperatura nas edificações. Os componentes de uma construção em geral, estão parcial ou totalmente restringidos as dilatações induzidas pela variação da temperatura, o que provoca um estado de tensão que pode causar sérios danos à estrutura.

A variação da temperatura causa tensão nos materiais de construção e a extensão dessas lesões depende do coeficiente de elasticidade do material, do grau de restrição dos movimentos do material, pelas suas conexões com outros elementos estruturais, da magnitude da mudança dimensional absoluta no material e pela mudança do teor de umidade.

3.5 CARACTERÍSTICAS DO REVESTIMENTO AO LONGO DO TEMPO

Há um grande conhecimento das características do revestimento em seu estado fresco e endurecido, porém é difícil determinar o exato comportamento dos materiais ao longo do tempo. Algumas características dos materiais e componentes se alteram com o passar do tempo, e isso causa variação no desempenho do revestimento.

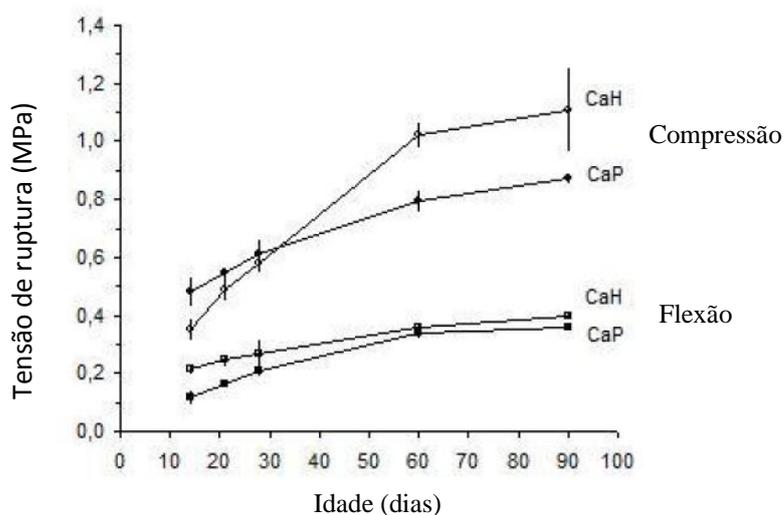
Não só os fatores físicos relacionados à resistência de aderência são afetados ao longo do tempo, mas também o comportamento dos aglomerantes e componentes do revestimento de argamassa. Da mesma forma que ocorre no concreto, para argamassas a base de cimento, há

⁷ Vieira (2006) Indica como referência a apostila da disciplina Patologia das Edificações, ministrada pelo professor Ronaldo Bastos Duarte, no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ano 2002.

um aumento de resistência mecânica dos materiais ao longo do tempo, ocasionado pela hidratação do cimento. Já para argamassas a base de cal, ocorre a carbonatação, que também aumenta a resistência do material.

Para entender o comportamento de algumas propriedades físicas, Agostinho (2008, p. 68), em seu trabalho, analisou argamassa a base de cal para diferentes períodos, entre os resultados a autora observou um aumento significativo de resistência à compressão e à flexão da argamassa entre 28 e 90 dias de cura, figura 11. Da mesma forma, a autora observou um aumento da velocidade de propagação de onda ultrassônica na ordem de 20% para o mesmo período. Esse aumento de resistência foi relacionado à carbonatação da cal ao longo do tempo. Onde CaH é uma argamassa de cal em pó e CaP uma argamassa de cal em pasta.

Figura 11 – Evolução das resistências mecânicas



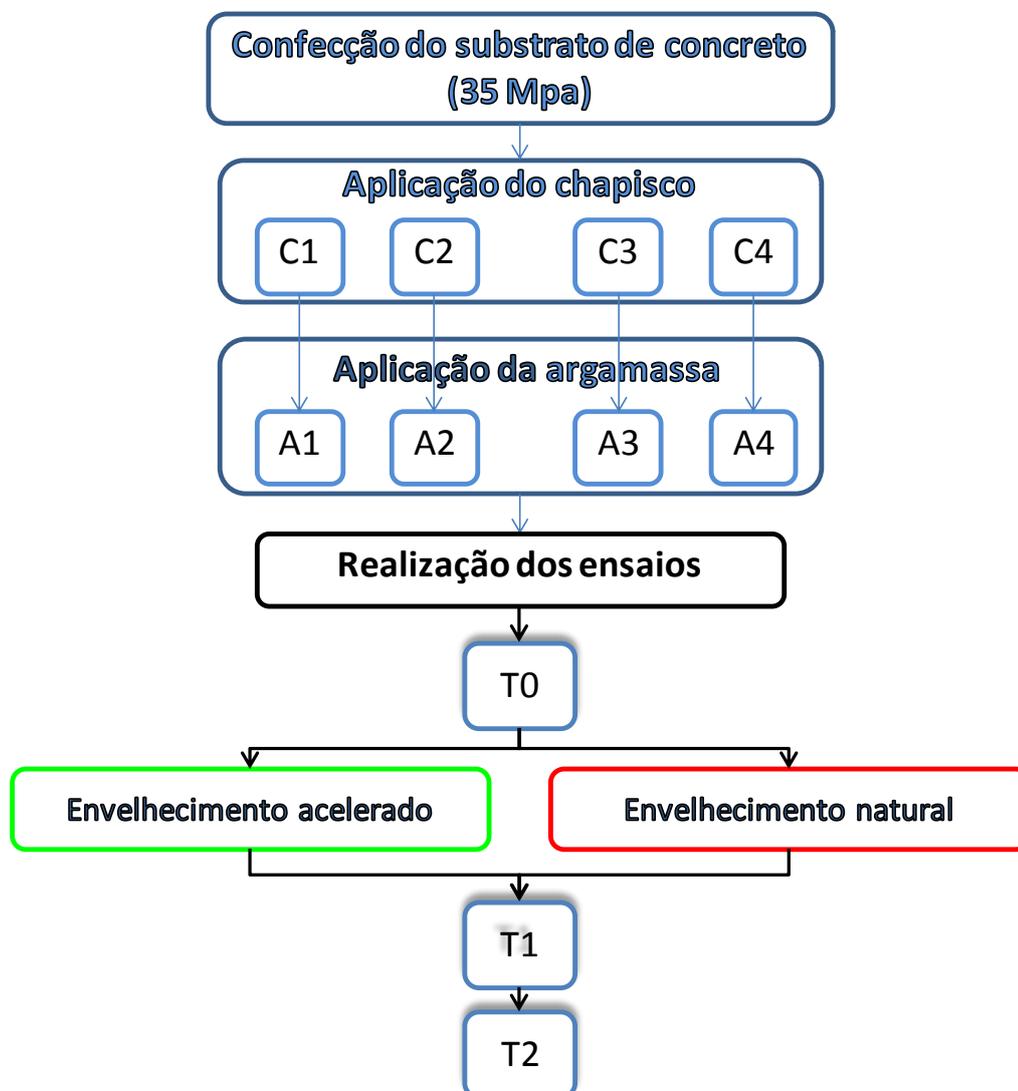
(fonte: Adaptado pelo autor de AGOSTINHO, 2008, p. 68)

O comportamento da resistência em pequenas idades tende a aumentar, como já citado e analisado anteriormente, porém em determinado ponto não é mais possível aumentar essa resistência, de modo que há uma redução de desempenho. Entre os fatores que causam isso está a degradação ambiental. Tal degradação pode ser analisada de forma simples. Os ciclos repetidos de variação de temperatura causam fissuras térmicas, quando há presença de água no ambiente, essas fissuras servem como entrada da umidade no revestimento, com posteriores ciclos de variação térmica, a água presente na argamassa se transforma em vapor e causa pressões internas que pode ocasionar o descolamento do revestimento.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O presente capítulo vai apresentar o programa experimental do trabalho, sendo definidas e justificadas as combinações necessárias para a elaboração do mesmo. Ao longo do capítulo será apresentada a caracterização dos materiais assim como a sequência de etapas do programa experimental (figura 12).

Figura 12 – Planejamento dos experimentos da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Primeiramente foram moldadas placas de concreto, a serem utilizadas como substrato, para posterior aplicação do revestimento, onde C1, C2, C3 e C4 são os diferentes chapiscos industrializados e A1, A2, A3 e A4, as argamassas cujos fabricantes são os mesmos dos chapiscos anteriormente citados, respectivamente, sendo que cada combinação é composta por materiais do mesmo fabricante. Já T0, T1 e T2 são os períodos de exposição impostos aos revestimentos, sendo T0 igual para todas as placas e T1 e T2 com envelhecimento acelerado ou envelhecimento natural para cada combinação.

Primeiramente é feito um detalhamento da preparação da pesquisa, explicando como foram executadas e quais parâmetros adotados para execução das placas que posteriormente serão ensaiadas. Em materiais e métodos são detalhados os materiais utilizados, assim como os métodos de aplicação. Para finalizar o capítulo de programa experimental, são detalhados os ensaios de caracterização, assim como os ensaios utilizados para analisar o comportamento do revestimento.

4.1 PREPARAÇÃO DA PESQUISA

O objetivo do trabalho é analisar o sistema de revestimento ao longo do tempo, para isso foram executadas miniparedes com substrato de concreto, camada intermediária de chapisco e posterior camada de argamassa de revestimento. A dimensão dessas paredes foi analisada e escolhida para suportar as etapas de envelhecimento e posteriores ensaios.

A primeira etapa do trabalho foi a moldagem das **placas de concreto**. Para tal foi adotada a resistência característica à compressão de 35 MPa aos 28 dias, valor este escolhido devido a utilização dessa resistência em um grande número de obras de Porto Alegre. Devido às combinações necessárias, foram confeccionadas 20 placas com as dimensões 90x10x4 cm (figura 13).

No dia posterior à execução do concreto foi realizada a desfôrma das placas. Posteriormente as placas foram devidamente identificadas e armazenadas em cura úmida em caixas com água e cal durante 28 dias. Aos 28 dias foram rompidos os corpos de prova para controle da resistência do concreto.

Figura 13: Placas de concreto



(fonte: foto do autor)

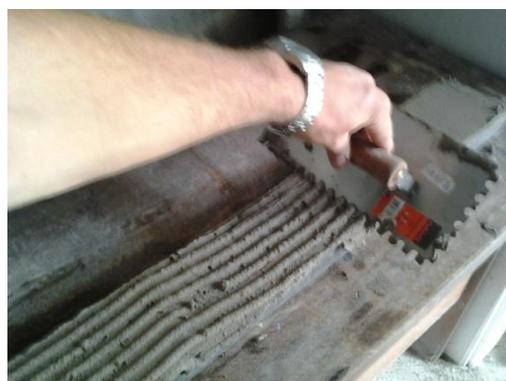
A próxima etapa da elaboração experimental do trabalho foi a execução dos diferentes tipos de **chapisco**. Antes da execução realizou-se o tratamento superficial do concreto, que para esse trabalho foi escolhida a escovação com escova de cerdas e aço com posterior limpeza com brocha. Essa etapa foi adotada para aumentar a quantidade de poros abertos na superfície da placa de concreto.

Foram escolhidos quatro tipos de chapisco, sendo um chapisco rolado do fabricante A, um chapisco desempenado do fabricante B, um chapisco rolado e um desempenado do fabricante C. A aplicação de cada produto foi conforme recomendado pelo devido fabricante (figura 14).

Figura 14 – aplicação do chapisco: (a) chapisco rolado, (b) chapisco desempenado



(a)

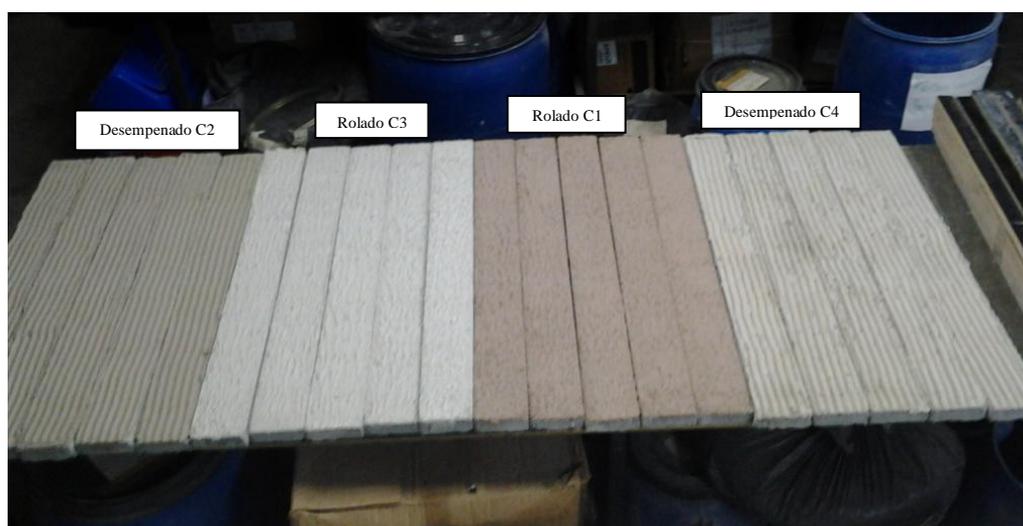


(b)

(fonte: fotos do autor)

A aplicação do chapisco foi realizada no mesmo dia para as diferentes combinações. Após a aplicação, as placas foram levadas para câmara climatizada onde permaneceram por três dias em cura, com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade de $60\pm 10\%$. Na figura 15 estão ilustradas todas as placas de concreto já com a camada de chapisco aplicada, aonde visualmente verificou-se uma diferença de cor e rugosidade.

Figura 15 – aspecto visual das placas de concreto após aplicação da camada de chapisco



(fonte: foto do autor)

Após a aplicação da argamassa de chapisco, deu-se início a aplicação da **argamassa de revestimento**. Como para o chapisco foram usados diferentes fabricantes, a argamassa escolhida para ser aplicada foi do respectivo fabricante do chapisco.

A aplicação da argamassa foi de forma manual, com a ajuda de um profissional experiente. Diferentemente das obras convencionais, a argamassa foi aplicada no sentido vertical, de cima para baixo, porém esse tipo de aplicação não deve ocasionar variação do desempenho. Para melhor aplicação e continuidade da camada de argamassa, foram utilizadas fôrmas de madeira para delimitar a área a ser aplicada a argamassa e a espessura da mesma (figura 16).

Figura 16 – aplicação da argamassa



(fonte: foto do autor)

Após a aplicação da argamassa, foi realizado o acabamento superficial com o uso da desempenadeira de madeira, (figura 17). No dia posterior à aplicação, a argamassa já possuía resistência necessária para poder desmoldar as placas. A partir desse momento, as placas já constituíam as miniparedes anteriormente citadas.

Figura 17 – Argamassa aplicada



(fonte: foto do autor)

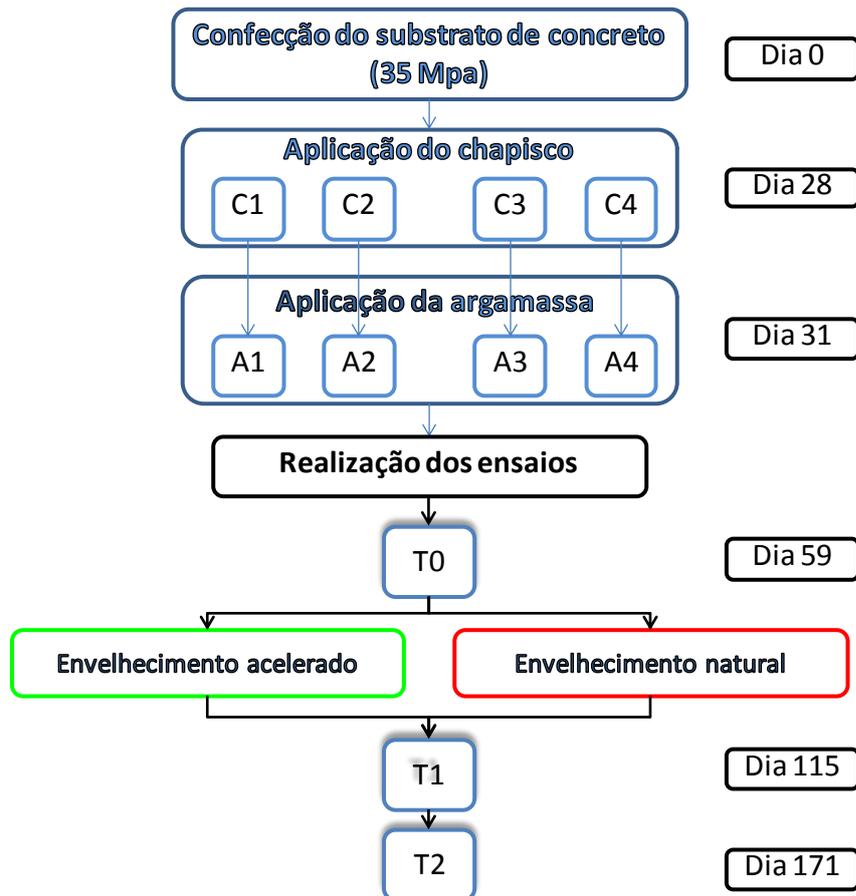
Após a conclusão da desfôrma, as placas foram levadas para câmara climatizada, com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade de $60\pm 10\%$, onde permaneceram por 28 dias, período este definido no programa experimental como T0.

No tempo T0 foram realizados os ensaios para uma placa de cada tipo de chapisco e argamassa. Após esse período iniciou-se a fase de envelhecimento acelerado, onde oito placas

foram armazenadas em câmara de envelhecimento acelerado e outras oito permaneceram em ambiente climatizado.

O tempo T1 diz respeito a um período de 56 dias após o tempo T0 em que as placas permaneceram em câmara climatizada ou de envelhecimento acelerado. Já o tempo T2 foram mais 56 dias de exposição (112 dias no total) nas mesmas situações e após o T1, Na figura 18 está um esquema para melhor compreensão dos períodos de cura adotados para cada etapa, assim como a sequência das etapas em dias acumulados, iniciando na confecção do substrato de concreto. É importante resaltar que os ensaios de mensuração de desempenho foram realizados no dia 59, no dia 115 e nos dia 171, sendo que para as duas últimas datas foram ensaiadas placas com envelhecimento acelerado e envelhecimento em câmara climatizada.

Figura 18 – Períodos para execução de cada etapa em dias acumulados



(fonte: elaborado pelo autor)

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse item são detalhados os materiais utilizados na pesquisa, assim como métodos adotados para possibilitar os diferentes tipos e períodos de exposição ao ambiente degradante.

4.2.1 Materiais

Aqui serão detalhados os materiais utilizados para elaboração das placas para ensaio. Serão detalhados os materiais e modos de execução do substrato de concreto, argamassas de chapisco e revestimento.

4.2.1.1 Concreto do substrato

Para confecção do concreto para substrato, foi utilizado o cimento CII-Z, com suas principais características descritas na tabela 1. Como agregado miúdo foi escolhida a areia regular quartzosa proveniente do Rio Jacuí, no Rio Grande do Sul. Para agregado graúdo foi escolhida brita com granulometria inferior a 9mm, conhecida também como brita 0. Na tabela 2 o traço em massa utilizado.

Tabela 1 – caracterização química, física e mecânica do cimento utilizado

CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO CP II-Z UTILIZADO		
Ensaio	Método	Resultados
Superfície específica Blaine	NBR NM 76/98	489,63 m ² /kg
Massa específica	NBR NM 23/01	2,95 g/cm ³
Massa unitária	NBR NM 45/95	0,81 g/cm ³
Finura peneira n° 200	NBR 11579/91	3,40%
Início de pega	NBR NM 65/02	256 min
Fim de pega	NBR NM 65/02	334 min
Perda de fogo	NBR NM 18/04	5,62%
Resistência à compressão 7 dias	NBR 7215/96	29,4 Mpa
Resistência à compressão 28 dias	NBR 7215/97	36,7 Mpa

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 2 – traço para substrato de concreto em massa

Traço em Massa			a/c
Cim	a	p	
1	1,65	2,08	0,47

(fonte: elaborado pelo autor)

4.2.1.2 Argamassa de chapisco

Como já explicado anteriormente, foram utilizados dois tipos de chapisco, rolado e desempenado. O método de execução é detalhado a seguir.

4.2.1.1.1 *Chapisco rolado*

A execução foi realizada conforme recomendação do fabricante, de modo a simular o comportamento em situações usuais. Sua aplicação deu-se com o auxílio de rolo de textura acoplado a um cabo. Primeiramente foi feita a mistura de água, na quantidade recomendada pelo fabricante, com posterior mistura mecânica. A aplicação foi realizada no sentido vai e vem até formar uma camada de aproximadamente 3 mm de espessura.

4.2.1.1.2 *Chapisco desempenado*

Da mesma forma que o chapisco rolado este foi executado conforme recomendações do fabricante. Após a adição de água e mistura mecânica foi dado início à aplicação ao substrato. Primeiramente, com o lado liso da desempenadeira metálica (8x8 mm) espalhou-se o material pelo substrato formando uma camada de aproximadamente 4 mm, posterior a isso, foi passado o lado denteado da desempenadeira sobre a camada de chapisco, formando assim os cordões de chapisco.

4.2.2.3 Argamassa de revestimento

Foram utilizados três tipos de argamassa industrializada, cada um para seu respectivo chapisco. A argamassa utilizada era industrializada, necessitando apenas a adição de água em sua mistura. A aplicação foi manual assim como seu acabamento superficial.

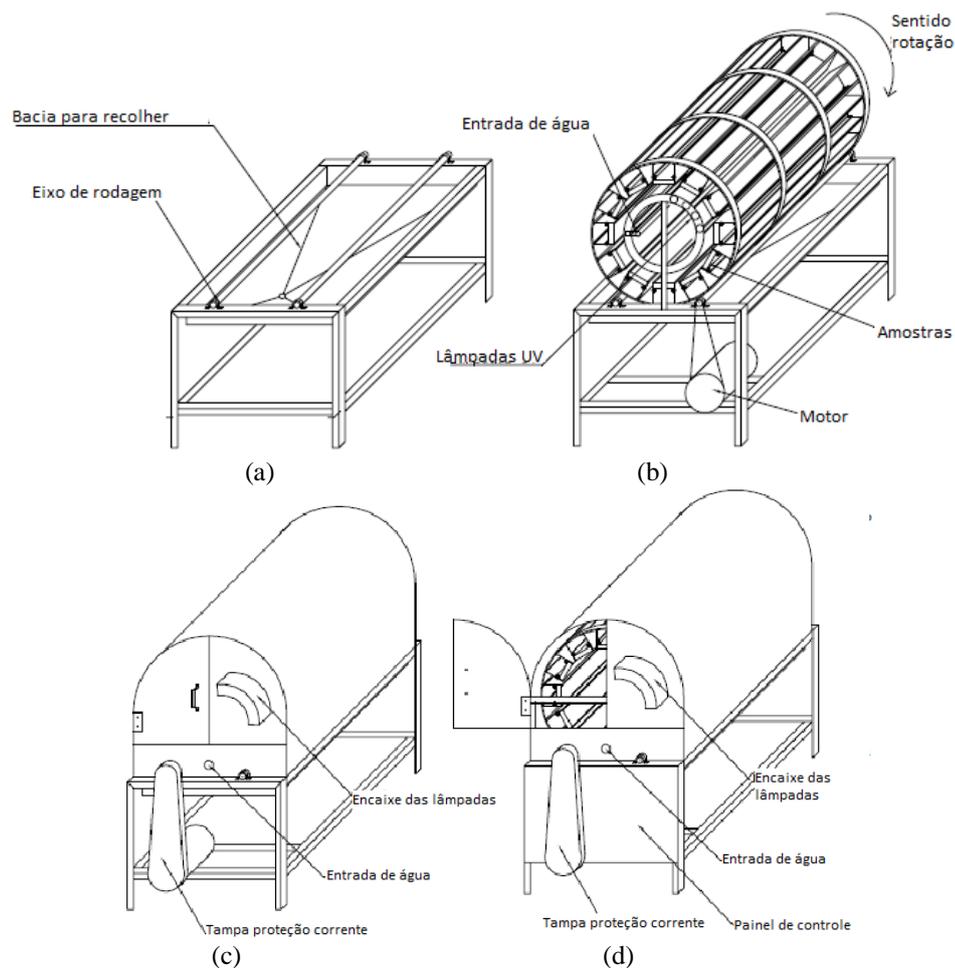
4.2.2 Envelhecimento acelerado

O equipamento utilizado para envelhecimento acelerado do revestimento foi criado pelo laboratório NORIE (Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação) da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), para ser utilizado como mecanismo para degradação de rochas ornamentais. Os mecanismos, assim como os parâmetros foram baseados nas normas ASTM G26 e ASTM G53 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1996a, 1996b) O mecanismo de envelhecimento se dá através de ciclos repetidos de exposição do revestimento à umidade, variação térmica e radiação.

Foram utilizadas quatro lâmpadas, responsáveis pela emissão de radiação, as quais estão compreendidas na região do UVA entre 315 a 400nm e UVB entre 280 a 315nm. O sistema de aspersão de água e a rotação do motor seguem a norma G26 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 1996a), sendo utilizado *spray* de água com pressão entre 12 e 17 mca, e motor com rotação de 1rpm. A temperatura é gerada por duas resistências de 750W, possibilitando uma temperatura de $63\pm 3^{\circ}\text{C}$.

O equipamento consiste em um eixo central, onde as placas são colocadas e giram sobre esse eixo, de forma que em determinados setores da câmara as amostras são expostas a determinados mecanismos de degradação. A figura 19 ilustra o funcionamento.

Figura 19 – Mecanismo de funcionamento do simulador de envelhecimento acelerado: (a) base, (b) suporte das amostras, (c) sistemas mecânicos (d) equipamento concluído.



(fonte: FIORETTI, 2012, p. 100)

O sistema de funcionamento eletromecânico do equipamento foi realizado com a ajuda de um temporizador programável, que controla o funcionamento das lâmpadas, aspersão de água, motor e resistências, com isso é possível controlar o tempo de cada situação, assim como o tempo de cada ciclo de degradação. A figura 20 mostra o equipamento concluído e instalado.

Figura 20 – Equipamento de envelhecimento concluído



(fonte: FIORETTI, 2012, p. 101)

Todas as placas colocadas na câmara são expostas ao mesmo ciclo, que para este trabalho foi determinado com 102 minutos de radiação e temperatura de $63\pm 3^{\circ}\text{C}$, e 18 minutos de aspersão de água com pressão entre 12 e 25 mca. O motor permanece ligado em todas as situações com rotação constante de 1 rpm. Para os períodos anteriormente determinados, 56 dias de exposição correspondem 672 ciclos, assim como 112 dias correspondem a 1324 ciclos.

4.3 ENSAIOS REALIZADOS

Foram executados basicamente dois tipos de ensaios. O primeiro, relacionado à caracterização das argamassas de chapisco e revestimento, tendo sido feitos ensaios no estado fresco e endurecido. Para caracterização foram feitos os ensaios de densidade de massa, absorção de água por capilaridade, resistência à compressão, resistência à tração na flexão e módulo de deformação dinâmico. O segundo tipo, diz respeito à mensuração de desempenho, para isso

foram feitos os ensaios de resistência de aderência à tração, ensaio de ultrassom e análise tato visual da superfície.

4.3.1 Densidade de massa

Esse ensaio foi realizado conforme de descrito pela norma NBR 13278 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005a). O ensaio consiste basicamente em determinar a massa do material em um recipiente com volume padronizado, obtendo uma relação entre massa e volume. Com o valor da densidade de massa tem-se um indicativo da quantidade de teor de ar incorporado na mistura, assim como da facilidade de aplicação da argamassa, uma vez que menores densidades implicam em maior facilidade de execução.

4.3.2 Absorção de água por capilaridade

Esse ensaio é regulamentado pela NBR 15259 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005c), e consiste basicamente em medir a absorção de água em três corpos de prova prismáticos com 28 dias de idade e dimensões 4x4x16 cm. Com esse ensaio é possível relacionar a absorção da argamassa com a porosidade da mesma, sendo essa uma das principais propriedades relacionadas à aderência.

4.3.3 Resistência à tração na flexão e à compressão

Esses dois ensaios são descritos pela NBR 13279 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005b), que determina como necessários três corpos de prova prismáticos com dimensões 4x4x16 cm para fazer o ensaio de resistência de tração na flexão, com as metades geradas na ruptura, formando seis corpos de prova, é feito o ensaio de resistência à compressão. A importância desses ensaios de origem mecânica está muito relacionada à durabilidade do revestimento, uma vez que valores extremos podem indicar fragilidade ou rigidez excessiva, o que não é indicado ao revestimento.

4.3.4 Módulo de deformação dinâmico

Esse ensaio está relacionado à capacidade do revestimento absorver deformações sem romper. O ensaio foi realizado pelo método de emissão de pulsos ultrassônicos, determinando uma velocidade de propagação sobre um corpo de prova com dimensões conhecidas. Com o valor da velocidade calcula-se o módulo de deformação dinâmico conforme critérios e fórmulas apresentados na NBR 15630 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008). Na análise dos dados é importante lembrar que quanto menor seu valor, maior será sua capacidade de absorver deformações.

4.3.5 Resistência de aderência à tração

O ensaio de resistência de aderência à tração é normatizado pela NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010). O ensaio basicamente consiste em fazer um teste de carga em uma determinada área do revestimento. Para isso é feito no revestimento o corte de uma região circular com diâmetro de 50mm com o auxílio de uma serra copo. Após isso, cola-se uma pastilha, a qual será posteriormente conectada a um equipamento o qual aplicará uma carga de tração (figura 21).

Figura 21 – Preparação para ensaio de arrancamento

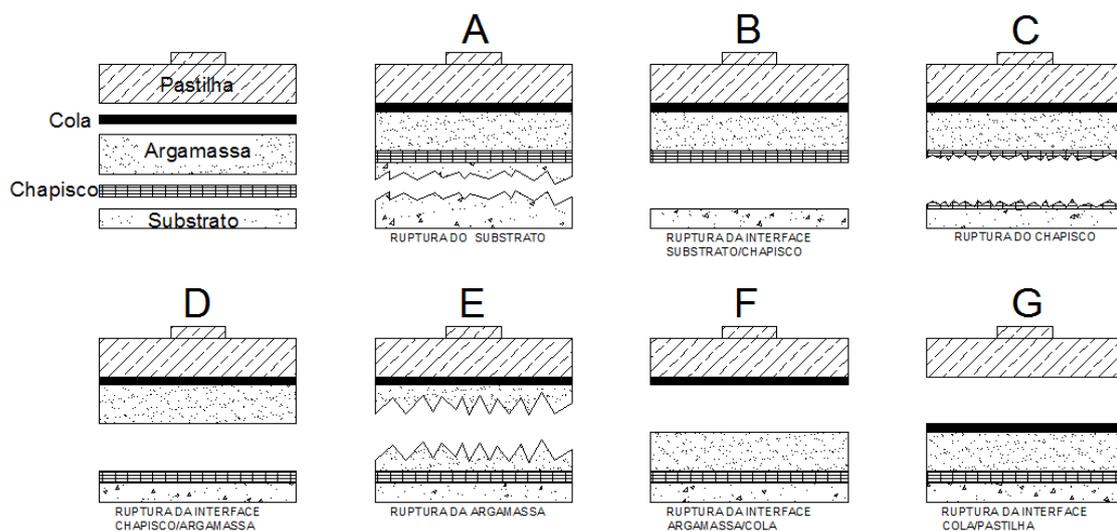


(fonte: foto do autor)

O resultado do ensaio é dado em kN, como a área de cada pastilha é medida, calcula-se a resistência em MPa. Além disso, a mesma norma faz a análise da forma de ruptura, com isso é possível analisar o comportamento do revestimento segundo o tipo de ruptura, conforme figura 22.

A análise das formas de ruptura serve como análise complementar ao valor encontrado no ensaio de resistência de aderência à tração. Com esses resultados é possível compreender o comportamento, e identificar o ponto fraco de cada revestimento em cada período.

Figura 22 – Formas de ruptura do ensaio de resistência de aderência à tração



(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010)

4.3.6 Ultrassom

O ensaio de ultrassom é um ensaio não destrutivo, que consiste em medir a velocidade de propagação de uma onda ultrassônica sobre um meio, sendo essa informação utilizada como um indicativo de qualidade. Para o atual ensaio, será feita a medição da velocidade em diversos pontos da placa, para as diferentes idades determinadas. Os transdutores serão posicionados entre os dois lados da placa, fazendo uma análise de forma direta.

A velocidade de propagação das ondas varia conforme o material, sendo que há redução para meios líquidos e gasosos. Dessa forma, para o sistema de revestimento de argamassa será possível identificar possíveis falhas entre as camadas de material. A NBR 8802 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994), considera a idade do

concreto, tipo de cimento e grau de hidratação como fatores importantes de alteração da velocidade de propagação, por isso, espera-se que com a completa hidratação do cimento, e consequente formação de material resistente, haja um aumento na velocidade de propagação, conforme já observado por Agostinho (2008, p. 67). O quadro 1 mostra alguns valores de velocidade de propagação para materiais conhecidos.

Quadro 1 – Velocidade de propagação dos materiais

Meio de propagação	Velocidade (m s ⁻¹)
Dióxido de carbono (0 °C)	258
Oxigênio	317
Ar (0 °C)	331,5
Ar (10 °C)	337,5
Ar (20 °C)	343,4
Ar (30 °C)	349,2
Hélio (20 °C)	927
Álcool etílico	1180
Chumbo	1200
Hidrogênio (0 °C)	1270
Mercurio	1450
Água (20 °C)	1480
Borracha	1500
Água do mar	1522
Latão	3500
Cobre	3900
Alumínio	4420
Concreto	5000
Aço	6000

(fonte: adaptado pelo autor de NETA, 2012)

Para complementar esse quadro, nos ensaios de caracterização desse trabalho a velocidade de propagação das argamassas utilizadas foi medida, encontrando valores na faixa entre 1000 e 1600 m/s. A variação se deu devido as diferentes composições de cada argamassa utilizada.

O ensaio foi realizado ao longo da placa de revestimento, medindo a velocidade direta do sistema como um todo. As placas que foram ensaiadas possuíam uma camada de concreto de aproximadamente 4 cm, chapisco 4 mm e argamassa aproximadamente 2 cm, por isso, pelas diferentes velocidade dos materiais, são esperados valores superiores ao da argamassa e inferior ao do concreto.

4.3.7 Análise tato-visual da superfície

Esse é um ensaio qualitativo, sem utilização de equipamentos, que tem como objetivo identificar a variação de cor e superfície do revestimento. Para a análise de cor, ao longo dos períodos de exposição, busca-se identificar áreas de manchamento ou mudança total na aparência do revestimento, comparando os diferentes períodos de exposição. Para variação da superfície, observa-se de forma qualitativa a resistência ao risco e pulverulência do revestimento, observando assim a sua resistência superficial.

A NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996b, p. 6), menciona a resistência ao risco informando que “O revestimento endurecido não pode desagregar-se pela pressão das mãos, podendo ser um indicativo de uma qualidade não atingida.”. A mesma norma relaciona a presença de pulverulência ao excesso de finos no agregado, traço pobre em aglomerantes e carbonatação insuficiente da cal.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesse capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos ao longo da pesquisa. Primeiramente serão mostrados os dados relativos às propriedades dos materiais, seguido dos dados dos ensaios de determinação de desempenho.

5.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Os dados obtidos para avaliação de resistências e características dos materiais serão aqui apresentados. A relevância desses resultados não pode ser utilizada para provar o comportamento dos materiais e sim relacionar tais resultados aos ensaios específicos para complementar à análise de desempenho.

5.1.1 Resistência à compressão do concreto

O controle da resistência à compressão do concreto é importante, uma vez que o comportamento do revestimento depende das características do substrato. A moldagem dos corpos de prova, assim como parâmetros estatísticos adotados, foram os estabelecidos pela NBR 12655 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996a). As resistências à compressão dos corpos de prova são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Resistência à compressão do concreto empregado como substrato aos 28 dias

Moldagem	Ruptura	Resistência à Compressão (MPa)	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação
		36,07			
28/01/2012	25/02/2012	38,09	36,69	1,21	3,30%
		35,92			

(fonte: elaborado pelo autor)

O resultado obtido no ensaio de resistência à compressão está dentro do estabelecido como delimitação do trabalho, que foi 35 MPa. O baixo desvio padrão serve como indicativo de um controle no processo de execução do concreto.

5.1.2 Caracterização e controle das argamassas de revestimento

Os ensaios de caracterização e controle das argamassas de revestimento serão apresentados conforme recomendação de sua respectiva norma. Entre os ensaios estão, densidade de massa, absorção de água por capilaridade, resistência à tração na flexão, compressão e módulo dinâmico.

Devido a presença de quatro tipos distintos de argamassa de chapisco e de argamassa de revestimento, serão aqui apresentados os resultados referindo-se a C1, C2, C3 e C4 para os diferentes chapiscos e A1, A2, A3 e A4 para as diferentes argamassas. Por conveniência e melhor entendimento ao longo do trabalho, a combinação do chapisco com argamassa de um mesmo fabricante correspondente serão chamados respectivamente de sistemas de revestimento S1, S2, S3 e S4.

Para melhor compreensão na análise dos resultados, é importante identificar o tipo de chapisco de cada sistema. Para o sistema S1 foi utilizado chapisco rolado, no sistema S2, chapisco desempenado do mesmo fabricante do chapisco C1, aqui identificado como fabricante 1, no sistema S3, chapisco rolado do fabricante 2, e no sistema S4, chapisco desempenado do fabricante 3.

Na tabela 4, são apresentados os valores médios e desvio padrão para os ensaios de caracterização e controle para as diferentes argamassas de chapisco utilizadas. No apêndice A são apresentados os valores encontrados nos ensaios mecânicos para as argamassas.

Tabela 4 – Propriedades das argamassas de chapisco e suas respectivas normas

Ensaio	NBR	Chapisco		Desemp.		
		Rolado	Desemp.	Rolado	Desemp.	
		C1	C2	C3	C4	
Densidade de massa (kg/m ³)	13278 (ABNT, 2005)	Média	1979,29	1929,64	1862,40	1846,81
		Desvio Padrão	3,88	6,35	6,17	4,94
		CV (%)	0,20%	0,33%	0,33%	0,27%
Absorção Água por Capilaridade (g/cm ²)	15259 (ABNT, 2005)	Média	0,32	0,35	0,48	0,82
		Desvio Padrão	0,03	0,05	0,03	0,03
		CV (%)	9,54%	13,47%	6,81%	3,97%
Resistencia à tração na Flexão (kN)	13279 (ABNT, 2005)	Média	1,92	1,46	1,50	0,96
		Desvio Padrão	0,33	0,14	0,36	0,00
		CV (%)	17,21%	9,88%	24,26%	0,00%
Resistência à compressão (MPa)	13279 (ABNT, 2005)	Média	12,65	14,38	10,60	5,84
		Desvio Padrão	2,00	1,56	1,08	0,75
		CV (%)	15,82%	10,87%	10,17%	12,83%

(fonte: elaborado pelo autor)

Fazendo uma análise dos valores obtidos na tabela 4, observa-se que C1 e C2 apresentam maior resistência mecânica que C3 e ainda maior que C4, de modo que as demais características também diferem entre si. Da mesma forma que a resistência mecânica, a densidade de massa também apresenta valor superior para C1 e C2, o que é pertinente, uma vez que quanto mais densa a pasta, mais resistente a argamassa. Já a absorção de água por capilaridade é inversamente proporcional à resistência mecânica, o que também já era esperado, uma vez que a maior quantidade de poros ocasiona uma menor resistência mecânica.

Na tabela 5, estão apresentados os valores médios das propriedades das argamassas. Importante aqui lembrar que a argamassa do sistema 1 é igual a argamassa do sistema 2.

Tabela 5 – Propriedades das argamassas de revestimento e suas respectivas normas

Argamassa					
Ensaio	NBR	Média	A1=A2	A3	A4
Densidade de massa (kg/m ³)	13278 (ABNT, 2005)	Média	1566,74	1825,85	1659,18
		Desvio Padrão	6,17	4,23	7,41
		CV (%)	0,39%	0,23%	0,45%
Absorção Água por Capilaridade(g/cm ²)	15259 (ABNT, 2005)	Média	0,44	2,33	0,83
		Desvio Padrão	0,07	0,11	0,10
		CV (%)	16,42%	4,83%	11,99%
Resistência à tração na Flexão (kN)	13279 (ABNT, 2005)	Média	0,70	0,14	0,38
		Desvio Padrão	0,24	0,04	0,02
		CV (%)	34,76%	28,57%	5,26%
Resistência à compressão (MPa)	13279 (ABNT, 2005)	Média	4,42	1,40	2,53
		Desvio Padrão	0,50	0,22	0,22
		CV (%)	11,30%	15,69%	8,54%
Módulo de deformação dinâmico(GPa)	15630 (ABNT, 2008)	Média	32,64	15,69	28,12
		Desvio Padrão	2,39	0,02	2,23
		CV (%)	7,32%	0,15%	7,92%

(fonte: elaborado pelo autor)

Da tabela 5, relacionada à argamassa de revestimento, é possível observar que a argamassa 3 apresenta uma resistência mecânica muito inferior às demais, conseqüentemente seu módulo de elasticidade é muito inferior, o que a torna mais resiliente que as demais. Também apresenta uma absorção de água por capilaridade bastante elevada.

Analisando as tabelas 4 e 5, para o C3 e A3 respectivamente, observa-se uma elevada diferença de valores relacionados à resistência mecânica, em que a argamassa apresenta um valor muito baixo em relação ao chapisco. É possível um ponto de fragilidade nessa interface.

Sobre os resultados de caracterização e controle é possível fazer algumas importantes observações:

- a) em todas as combinações chapisco e argamassa analisadas, o chapisco apresentou desempenho superior à argamassa quando relacionado a seu desempenho mecânico, o que era esperado. Ruduit (2009, p. 28), justifica tal ocorrência pelo maior consumo de cimento do chapisco em relação à argamassa;
- b) a argamassa 3 apresenta menores valores de resistência à tração na flexão e compressão. Como essa argamassa é industrializada, não se tem conhecimento de sua composição, mas tal ocorrência pode ser justificada pelo menor consumo de cimento e maior consumo de cal. Como a carbonatação da cal é um processo mais lento, é possível que ainda não tenha atingido seu potencial. Também apresenta menor módulo de deformação dinâmico, o que indica uma maior resiliência;
- c) a absorção de água da argamassa é superior à do chapisco em todas as combinações e também pode ser justificado pelo maior consumo de cimento e cal. Segundo Silva (2006, p. 7), o chapisco é uma camada de preparação da base, e um de seus objetivos é regularizar a absorção de água, por isso, é esperado que a resistência mecânica do chapisco seja superior à argamassa e inferior ao concreto.

5.2 DESEMPENHO DO SISTEMA DE REVESTIMENTO

Os resultados e análises dos ensaios principais de mensuração de desempenho do revestimento serão aqui apresentados, entre eles estão resistência de aderência à tração, ultrassom e análise tato-visual da superfície.

5.2.1 Resistência de aderência à tração

Para análise dos dados obtidos realizou-se uma análise de variância (ANOVA), assim como uma análise de médias quando necessário. Foi feita uma análise entre grupos, gerando assim interações entre os diferentes tipos de revestimentos de argamassa e tipos de envelhecimento. Por isso os resultados e conclusões são apresentados fazendo uma análise comparativa entre sistemas de revestimento. Serão apresentados somente os valores médios e análises estatísticas, todos os valores e dimensões encontrados nos ensaios são apresentados no apêndice B.

A NBR 13528 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) tem como critério de aceitação, para ambiente externo, uma resistência do sistema de argamassa superior a 0,3 MPa e um número de 12 corpos de prova. Já a NBR 13749 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996b), diz que a avaliação consiste na análise de seis corpos de prova, dos quais quatro devem possuir resistência superior ou igual à determinada pela norma. Porém, essa norma ainda não foi revisada, apresentando uma incompatibilidade com a norma anterior, desta forma, por analogia a norma mais atual, dos 12 corpos de prova 8 devem apresentar resistência superior a especificada na norma. A NBR 13528 também utiliza o coeficiente de variação (CV) como parâmetro de desempenho, uma vez que quanto menor o CV menor a variabilidade dos resultados. Estatisticamente o limite para considerar uma amostra aceitável é 25%, porém, devido ao elevado número de fatores que influenciam em tal resultado, é possível aceitar valores um pouco superiores.

Para eliminar valores espúrios, que por algum motivo apresentaram um valor muito diferente aos demais, primeiro foi calculada a média e desvio padrão para todas as amostras. Dentre esses valores foram excluídos os valores superiores e inferiores a duas vezes o desvio padrão em relação à média. Com os valores contidos no intervalo estabelecido como aceitáveis, são calculadas as médias e feita a análise de variância. A tabela 6 mostra os valores médios de resistência de aderência à tração.

Tabela 6 – Valores médios da resistência de aderência à tração de diferentes sistemas de revestimento de argamassa submetidos a diferentes condições de exposição

		Câmara climatizada			Envelhecimento acelerado	
		T0	T1	T2	T1	T2
Sistema 1	Média (MPa)	0,41	0,41	0,52	0,36	0,65
	Desvio Padrão	0,07	0,10	0,14	0,02	0,11
	CV (%)	17,3%	24,8%	26,3%	6,3%	16,3%
Sistema 2	Média (MPa)	0,65	0,69	0,87	0,81	0,66
	Desvio Padrão	0,07	0,09	0,11	0,08	0,06
	CV (%)	10,3%	12,7%	12,6%	10,3%	8,5%
Sistema 3	Média (MPa)	0,05	0,04	0,06	0,32	0,20
	Desvio Padrão	0,01	0,02	0,02	0,03	0,08
	CV (%)	26,0%	46,2%	38,9%	9,9%	41,6%
Sistema 4	Média (MPa)	0,18	0,25	0,30	0,59	0,54
	Desvio Padrão	0,05	0,07	0,09	0,09	0,15
	CV (%)	27,8%	29,4%	28,7%	14,9%	27,1%

(fonte: elaborado pelo autor)

Como é possível observar na tabela 6, o sistema de revestimento S1 apresenta valores de coeficiente de variação próximos aos aceitáveis, e com uma resistência de aderência a tração média superior ao limite da norma para todas as combinações. Para o sistema S2, o CV é muito baixo, não ultrapassando em nenhum momento o limite estatístico, e com resistências muito superiores ao estabelecido pela norma. Já o sistema S3, apresenta elevado CV para alguns períodos de envelhecimento, além de apresentar valores de resistência inferiores a 0,3 MPa, de modo, que tal sistema de revestimento pode ser julgado inapropriado. O sistema S4, com coeficiente de variação um pouco superior a 25% em algumas combinações, assim como sua resistência variando entre o limite da norma, pode ser julgado apropriado para alguns períodos de exposição.

Pela falta de dados na bibliografia, fica difícil obter parâmetros de comparação para o revestimento de argamassa ao longo do tempo, mas é possível comparar o tempo T0 com trabalhos anteriores para ter um parâmetro para o tempo inicial. Em sua pesquisa, Longhi et al. (2011, p. 8), analisando argamassa industrializada com chapisco rolado, em situações similares a esse trabalho, obteve uma resistência média de aderência à tração de 0,42 MPa, valor muito próximo ao encontrado para o S1.

Para determinar se a diferença da resistência de aderência à tração do sistema de revestimento de argamassa é significativa para os diversos períodos e tipos de envelhecimento estabelecidos, foi feita uma análise de variância com significância de 95%. Foram encontrados os valores contidos na tabela 7.

Tabela 7 – Análise de variância da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento de argamassa submetidos a diferentes condições de exposição

	GDL	MQ	F (calc)	p	Significância
tipo argamassa	3	2,634	455,584	0,000000	S
tipo cura	1	0,287	49,630	0,000000	S
tempo	2	0,362	62,538	0,000000	S
tipo argamassa*tipo cura	3	0,107	18,483	0,000000	S
tipo argamassa*tempo	6	0,077	13,327	0,000000	S
tipo cura*tempo	2	0,115	19,871	0,000000	S
tipo argamassa*tipo cura*tempo	6	0,071	12,237	0,000000	S
error	159	0,00578			

GDL: graus de liberdade

MQ: média quadrada

F (calc): valor da distribuição F calculado

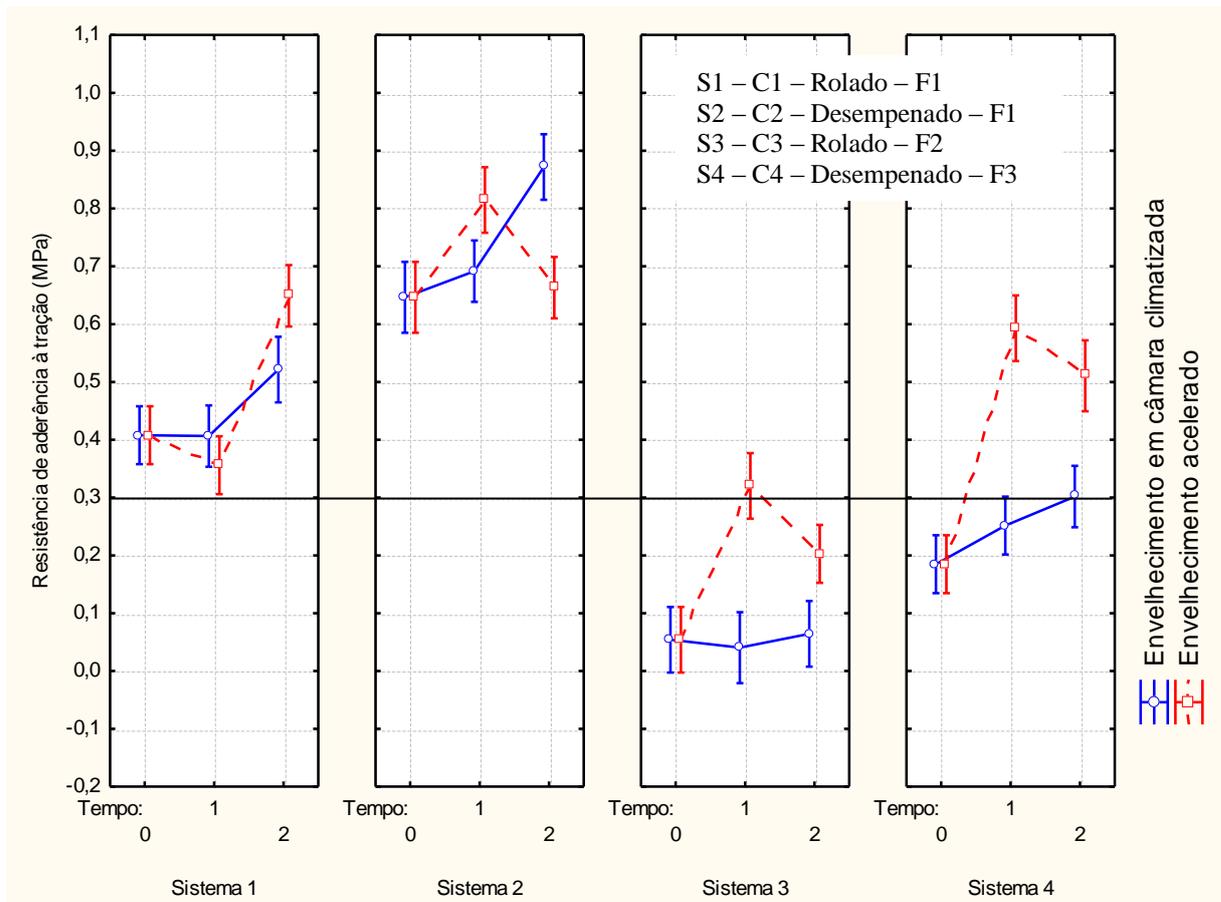
p: probabilidade do efeito do fator sobre a variável de resposta ser um acaso numérico

S: significativo para um grau de significância de 95%

(fonte: elaborado pelo autor)

O valor de p indica a significância da combinação, se superior a 0,05, os valores encontrados não são significativos, podendo ser considerado somente um acaso numérico. Para todas as combinações analisadas encontrou-se um resultado significativo. A figura 23 apresenta a análise gráfica da interação tipo de argamassa*tipo de cura*tempo, sendo que os resultados de resistência de aderência à tração são analisados conjuntamente com todas variáveis impostas.

Figura 23 – Análise de variância da resistência de aderência à tração dos sistemas revestimento de argamassa submetidos à diferentes condições de exposição



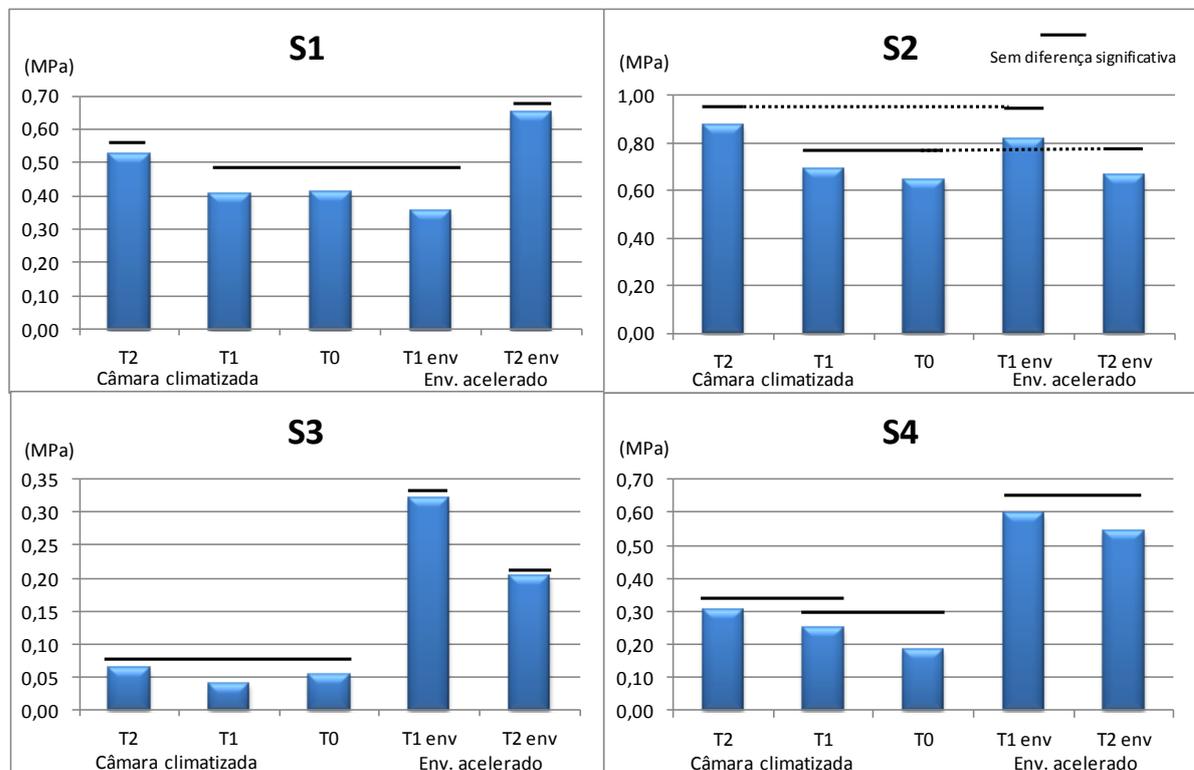
(fonte: elaborado pelo autor)

Pela figura 23, observa-se que o sistema de revestimento 2 (S2) apresenta o melhor desempenho de resistência de aderência à tração quando comparado aos demais. Comparando-o ao sistema 4 (S4), sendo que ambos são chapiscos desempenados, é notável a diferença. O sistema 1 (S1) também apresenta bom desempenho, comparado-o com o sistema 3 (S3), ambos com chapisco rolado. O sistema 3 (S3) apresenta um resultado insuficiente pelo estabelecido pela norma, já o sistema 4 (S4) apresenta resultado considerável quando não exposto a maiores solicitações.

Analisando o comportamento da resistência dos diferentes tipos de revestimento quando submetido ao envelhecimento em câmara climatizada, nota-se em todos os sistemas uma variação positiva de resistência ao longo do período de exposição. Tal ganho pode ser justificado pelo processo de hidratação de cimento, que pode causar aumento da resistência mecânica, da mesma forma a carbonatação da cal favorece para tal comportamento.

Para fazer um estudo mais detalhado dos resultados da análise de variância, foi feita uma análise de média para identificar se há diferença significativa entre elas. Foi estabelecido um intervalo de confiança de 95%, com três vezes o desvio padrão da média amostral (figura 24).

Figura 24 – Análise de médias da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento de argamassa submetidos à diferentes condições de exposição



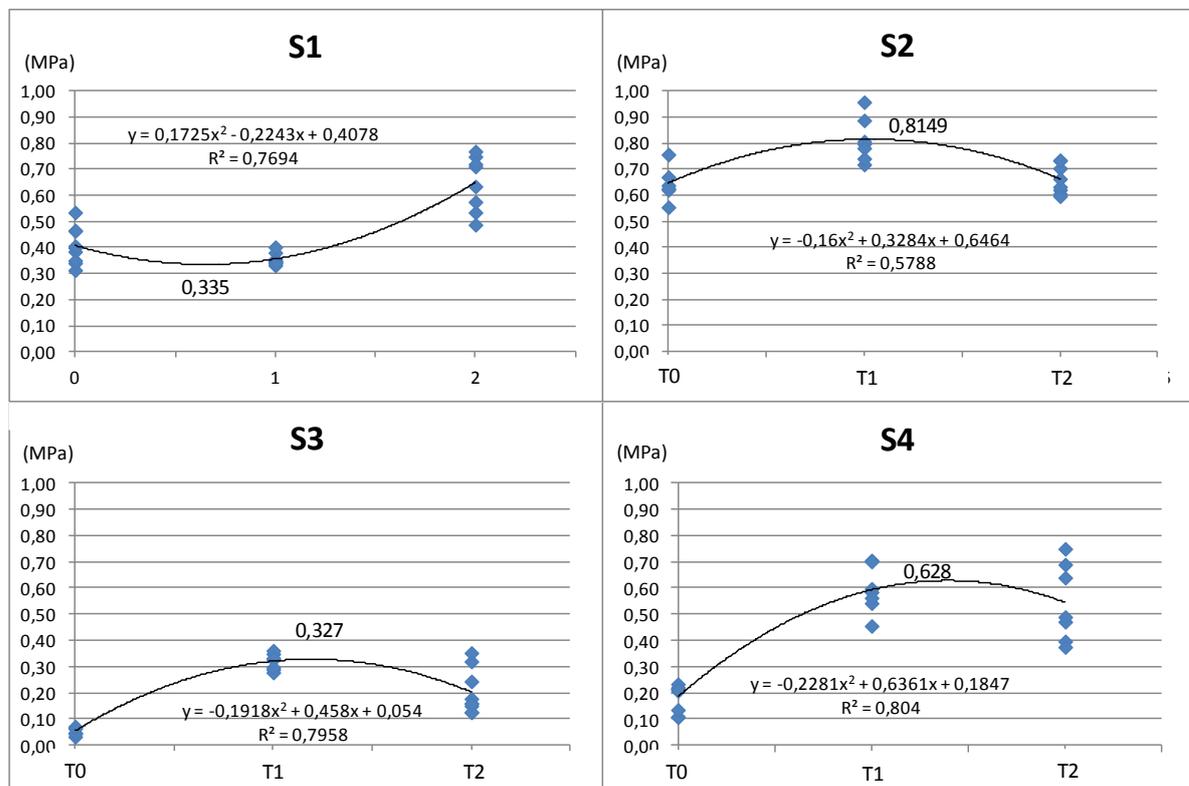
(fonte: elaborado pelo autor)

Analisando os sistemas S2, S3 e S4 de revestimento submetidos ao envelhecimento acelerado, nota-se que para a primeira idade há um ganho de resistência considerável, com posterior diminuição de resistência. Pela análise de média é possível observar para esses sistemas, que o tempo T1 de envelhecimento acelerado apresenta diferença significativa quando comparado ao tempo T0, assim como o tempo T2 em câmara climatizada também apresenta variação significativa em relação ao tempo T0 para a maioria dos sistemas.

O aumento pode ser justificado da mesma forma que para o envelhecimento em câmara climatizada, devido aos mecanismos de hidratação e carbonatação. A partir do momento que todos os grãos de cimento já foram hidratados e toda cal livre carbonatada, inicia-se o processo de deterioração do revestimento, com conseqüente diminuição de resistência. Esse fenômeno pode ser observado no segundo período do envelhecimento acelerado. Para os sistemas S2 e S3, esse fenômeno fica visível pela análise de média, pois é significativa a redução de resistência. O sistema S1, com comportamento diferente dos demais, apresentou um aumento para o último período, podendo assim, afirmar apenas que ainda não atingiu seu pico de resistência.

Como já citado anteriormente, a aderência à tração do revestimento atinge um valor máximo de resistência. É possível com a análise de regressão, fazer uma estimativa dos valores futuros e entre os intervalos da curva. Para tal circunstância, é necessário saber o valor máximo da curva, também conhecido como ponto de inflexão. Para uma curva polinomial, o valor de x da derivada da função quando y igual a zero determina a posição do ponto de inflexão. Com o valor de x , calcula-se o valor máximo de y (resistência) (figura 25).

Figura 25 – Linhas de tendência da resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento submetidos à envelhecimento acelerado



(fonte: elaborado pelo autor)

O modelo adotado para a curva de tendência foi a polinomial devido ao seu melhor comportamento quando relacionado ao valor R^2 , uma vez que quanto mais próximo de um está esse valor, mais explicativo é esse modelo. Pela figura 25, como já foi explicado, nota-se que o sistema S1 tem um comportamento atípico quando comparado aos demais. Para os sistemas S2 e S3, o pico de resistência está próximo a média do primeiro período, já para o sistema S4, esse valor está um pouco deslocado, apresentando aumento em relação ao ponto intermediário. Com esses gráficos é possível compreender e estimar a resistência de cada revestimento ao longo do tempo, porém ainda não é possível estimar esse tempo em anos pela falta de dados.

Para complementar os resultados de resistência mecânica, a análise de ruptura serve de apoio na compreensão do comportamento de resistência de aderência à tração. Na tabela 8, os resultados para todos os sistemas.

Tabela 8 – Formas de ruptura dos sistemas de revestimento submetidos à diferentes condições de exposição

		Formas de ruptura (%)						
		sub	sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
Sistema 1	T0			6,5%	65,5%	28,0%		
	T1 câmara climatizada			8,0%	73,5%	18,5%		
	T2 câmara climatizada		3,3%	5,6%	88,3%	2,8%		
	T1 env. acelerado				2,0%	98,0%		
	T2 env. acelerado			1,5%	15,0%	83,5%		
Sistema 2	T0		9,5%	2,5%	45,0%	41,0%		
	T1 câmara climatizada		6,0%	4,0%	33,0%	27,0%	30,0%	
	T2 câmara climatizada		6,0%		16,0%	78,0%		
	T1 env. acelerado				2,0%	58,0%	40,0%	
	T2 env. acelerado				10,0%	90,0%		
Sistema 3	T0			2,0%	98,0%			
	T1 câmara climatizada				83,3%		16,7%	
	T2 câmara climatizada				78,5%	21,5%		
	T1 env. acelerado				60,0%	20,0%	20,0%	
	T2 env. acelerado				69,0%	29,0%		
Sistema 4	T0		1,0%	1,0%	57,5%	40,5%		
	T1 câmara climatizada				84,0%	16,0%		
	T2 câmara climatizada		5,0%	3,5%	81,0%	10,5%		
	T1 env. acelerado				84,0%	16,0%		
	T2 env. acelerado		0,5%	0,5%	47,0%	51,5%		

(fonte: elaborado pelo autor)

Para os sistemas S1, S3 e S4, nota-se uma presença maior de ruptura na interface chapisco e argamassa para o revestimento no tempo T0 e para os revestimentos com envelhecimento em câmara climatizada. Já para os sistemas submetidos ao envelhecimento acelerado, nota-se um aumento de ruptura na argamassa. Tais constatações podem ser justificadas pelo fato de o chapisco normalmente possuir maior consumo de cimento que a argamassa, o que já foi analisado na tabela 4 e 5 (propriedades das argamassas), e com o passar do tempo, a hidratação do cimento fortalece as ligações entre a interface e aumenta a resistência entre os materiais, assim como a resistência da argamassa, com envelhecimento acelerado, a primeira camada a ser atacada pelas intempéries naturais é a argamassa, fazendo que suas ligações se enfraqueçam, pois o ciclo a que é submetido envolve calor e água, gerando tensões internas, tornando-a menos resistente. O sistema S2, por já possuir uma resistência superior, não se comporta da mesma forma que os demais sistemas.

É importante resaltar o comportamento da ruptura do sistema S3. Pelas tabelas 4 e 5, nota-se que a resistência mecânica da argamassa é muito inferior a do chapisco, mesmo assim a maior incidência de ruptura deu-se na interface entre esses materiais, possivelmente pela incompatibilidade entre eles, podendo ainda propor uma quantidade de aglomerante na argamassa insuficiente para garantir a aderência com o chapisco.

Os sistemas S1 e S2, mesmo fazendo uso da mesma argamassa, apresentaram comportamentos de ruptura diferentes, isso se deve ao chapisco, uma vez que C1 é rolado e C2 desempenado. Pela maior superfície de aderência e maior travamento mecânico, o chapisco desempenado apresentou menor incidência de ruptura na interface, principalmente no envelhecimento em câmara climatizada, onde o sistema de revestimento ainda está íntegro.

Sobre os resultados obtidos pelo ensaio de resistência à tração, é possível fazer algumas considerações:

- a) os sistemas de revestimento S2, S3 e S4 apresentam ganho de resistência de aderência à tração no primeiro período de envelhecimento e perda para o segundo período, de modo que é possível afirmar que em curtos períodos de envelhecimento o revestimento ganha resistência devido a completa hidratação do cimento e da carbonatação da cal da argamassa, atingindo o pico de resistência, ao passar desse ponto inicia-se a degradação do revestimento e perda de desempenho. O sistema 1 apresentou redução no primeiro período e aumento no segundo, de modo que ainda não atingiu seu pico de resistência;
- b) para todos os sistemas, quando submetidos ao envelhecimento em câmara climatizada, tem-se aumento de resistência ao longo do tempo. Com o passar

do tempo esse revestimento deve atingir um valor de resistência próximo ao pico observado no envelhecimento acelerado;

- c) pela análise de formas de ruptura, tem-se uma leve tendência de ruptura da interface chapisco/argamassa no envelhecimento em câmara climatizada e maior incidência de ruptura da argamassa ao longo do período de envelhecimento acelerado, podendo assim presumir que ao longo do envelhecimento há redução de desempenho da camada de argamassa de revestimento.

5.2.2 Ultrassom

O ensaio de ultrassom foi realizado para os diferentes sistemas de revestimento de argamassa utilizados ao longo do período de exposição a que foram expostos. Como o objetivo é analisar a velocidade de propagação ao longo do tempo, foi feito o ensaio apenas para o revestimento submetido à envelhecimento acelerado. Como mostra a tabela 9 e a figura 26. Para cada placa, o ensaio foi feito em 14 pontos, resultando valores de velocidade em m/s. Os valores obtidos nos ensaios estão disponíveis no apêndice C.

Tabela 9 – Velocidade de propagação da onda ultrassônica sobre as placas de revestimento

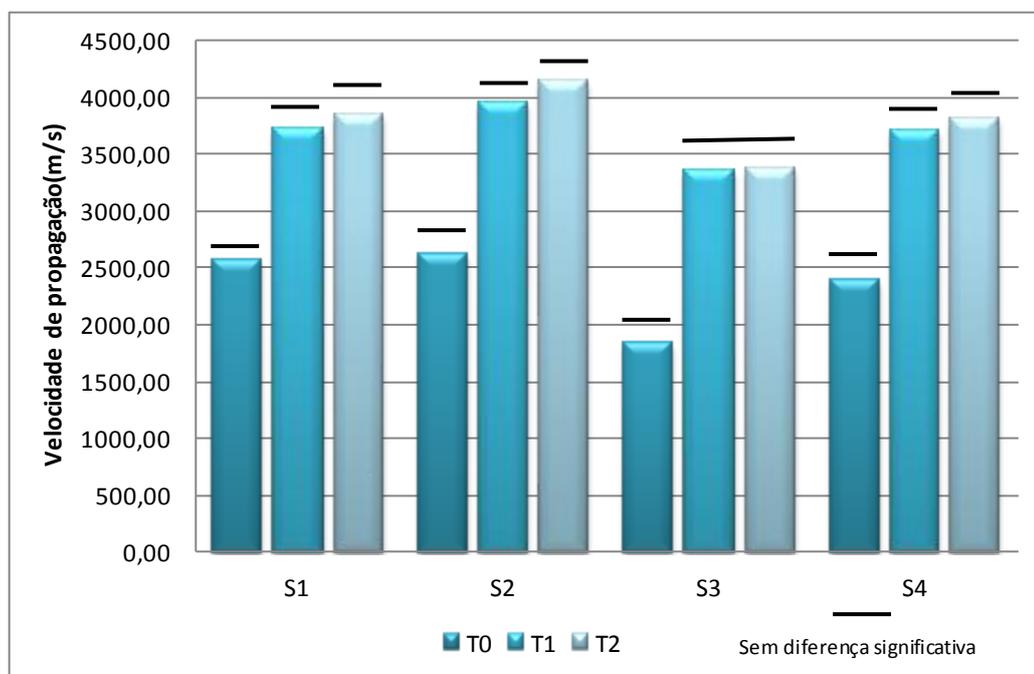
		Média (m/s)	Desvio Padrão	CV (%)
S1	T0	2566,79	47,99	1,87%
	T1	3723,79	64,59	1,73%
	T2	3844,64	65,00	1,69%
S2	T0	2619,50	43,40	1,66%
	T1	3957,21	101,75	2,57%
	T2	4139,79	152,40	3,68%
S3	T0	1830,54	35,69	1,95%
	T1	3364,50	100,13	2,98%
	T2	3372,67	77,04	2,28%
S4	T0	2394,15	48,02	2,01%
	T1	3714,21	99,57	2,68%
	T2	3804,64	110,86	2,91%

(fonte: elaborado pelo autor)

Como é possível observar na tabela 9, para todos os sistemas analisados, o aumento do período de envelhecimento causa um aumento na velocidade de propagação do som, isso pode ser atribuído formação de matéria resistente entre os vazios e poros do concreto decorrente dos mecanismos de ganho de resistência, fazendo com que a água livre do concreto seja

absorvida pelos grãos livres de cimento, hidratando-o e tornando os revestimentos mais resistente e com menos poros.

Figura 26 – Velocidade de propagação da onda ultrassônica sobre as placas de revestimento

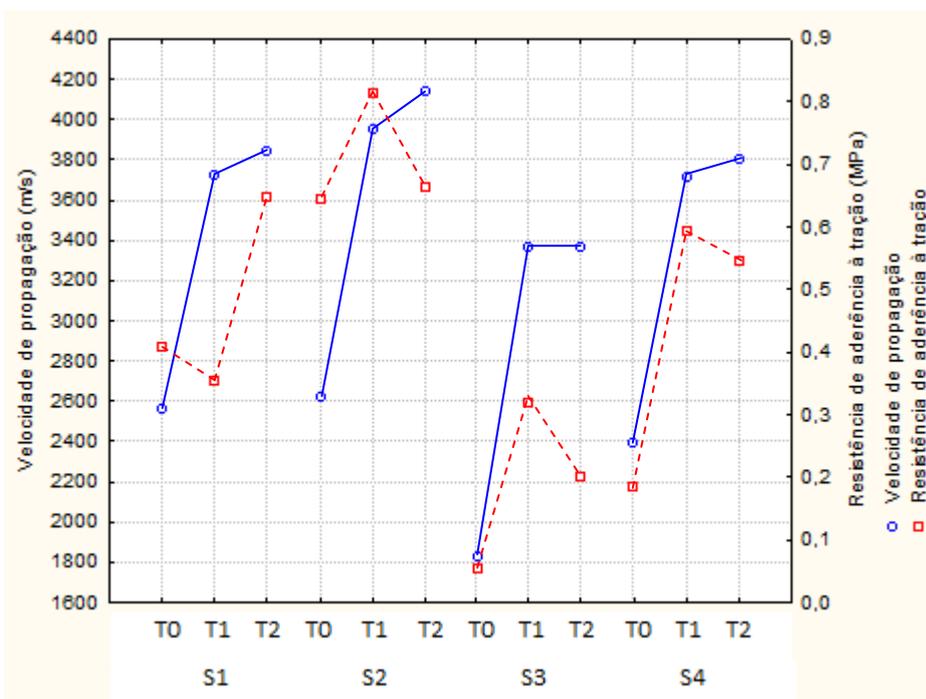


(fonte: elaborado pelo autor)

Na figura 26, além da apresentação dos valores médios, já é feita a análise de variância de médias, em que nota-se a significância da diferença de média na maioria dos períodos de exposição, também é possível observar que a taxa de aumento de velocidade entre os tempos T1 e T2 é menor que entre os tempos T0 e T1, concluindo assim que a formação de matéria resistente já não é mais crescente, tendendo a estabilizar.

É possível associar a resistência de aderência à tração à velocidade de propagação. Na figura 27, é possível observar para os quatro sistemas de revestimento o comportamento entre variáveis. Para os sistemas S2, S3 e S4, tem-se um comportamento parecido. No primeiro período de envelhecimento acelerado, há um aumento na velocidade de propagação, da mesma forma um aumento na resistência de aderência á tração, já no segundo período, uma taxa de aumento de velocidade muito inferior ao período anterior, com uma redução na resistência de aderência à tração.

Figura 27 – Relação entre resistência de aderência à tração e velocidade de propagação.



(fonte: elaborado pelo autor)

Também é possível observar, que os sistemas que apresentam mais velocidade de propagação são os mesmos que apresentam maior resistência de aderência à tração, por isso é possível associar maiores velocidades a maiores resistências e afirmar que a formação de matéria resistente causa aumento da velocidade de propagação, porém, ao longo do tempo, a taxa de aumento da velocidade reduz, assim como seu desempenho mecânico.

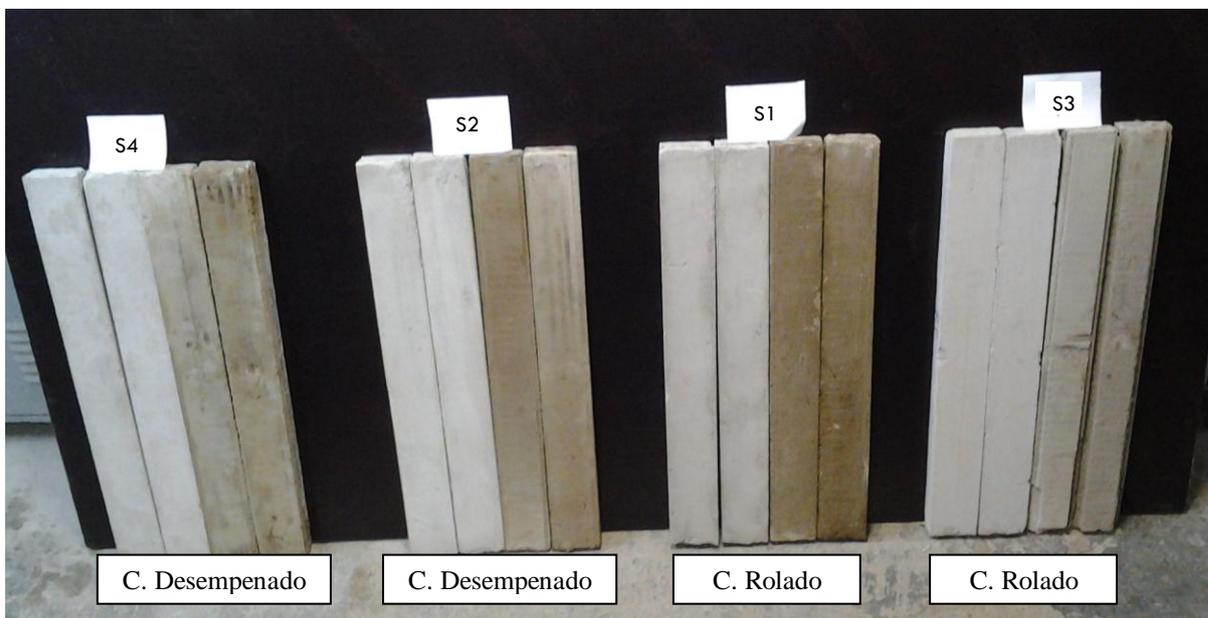
5.2.3 Análise tato-visual

Como já mencionado, esse ensaio é qualitativo, sua mudança de aparência não necessariamente influencia no desempenho mecânico, mas simplesmente pela alteração de sua coloração pode-se afirmar que há uma mudança negativa, uma vez que a aparência em determinadas circunstâncias é importante. A figura 28 mostra as placas expostas em câmara climatizada e de envelhecimento acelerado.

Como é possível observar nessa figura, para cada sistema identificado, as duas placas da direita foram submetidas a envelhecimento acelerado e apresentam uma coloração diferente às demais placas, isso se deve a exposição dos materiais aos ciclos de degradação ambientais

compostos por chuva, vento, variação térmica e raios UVA e UVB, de modo que há alteração superficial dos materiais.

Figura 28 – Alteração superficial das diferentes argamassas para envelhecimento em câmara climatizada e acelerado



(fonte: foto do autor)

Pela resistência ao risco, nos sistemas S3 e S4, para placas com envelhecimento em câmara climatizada, foi observado material pulverulento na superfície e de fácil abrasão, já para esses sistemas em envelhecimento acelerado, não há material pulverulento e maior resistência ao risco. Para os sistemas S1 e S2, não se observou mudança significativa da resistência ao risco para os diferentes tipos de envelhecimento, apesar da modificação da cor os dois apresentaram-se íntegros e sem falhas.

6 CONCLUSÕES

Perante os resultados e análises obtidos nos ensaios, é possível obter algumas conclusões para o trabalho. Diferentemente do esperado, os diferentes tipos de revestimento de argamassa, de forma comparativa, apresentaram variação de desempenho quando analisados perante a resistência de aderência à tração. O sistema S2 apresentou os valores mais altos de resistência de aderência à tração em comparação aos demais, seguido pelo sistema S1, ambos do mesmo fabricante, sendo assim, os sistemas de revestimento do fabricante 1 apresentaram melhor desempenho aos demais.

Os diferentes revestimentos de argamassa quando submetido a envelhecimento em câmara climatizada apresentam ganho de resistência ao longo do tempo em que foram expostos. Para os sistemas S1, S2 e S4 o aumento de resistência é significativo, já para o sistema S3, a diferença de desempenho não apresenta variação significativa.

Os diferentes revestimentos de argamassa quando submetidos a envelhecimento acelerado apresentam ganhos de resistência nas primeiras idades, ocasionado pelos processos de hidratação e carbonatação, e começam a perder resistência para idades mais avançadas. O Sistema S1 apresentou comportamento atípico aos demais, não atingindo seu pico de resistência, já o sistema S2 apresentou ganho com posterior diminuição sendo que o T0 e T2 env não apresentam diferença significativa, o que indica perda de desempenho a partir desse ponto em relação ao T0. Para os sistemas S3 e S4, há aumento na primeira idade de envelhecimento com posterior redução, porém o valor para T2 env. ainda é superior ao T0, mesmo tendo uma tendência de redução de desempenho desses sistemas.

Ao longo do tempo, a argamassa apresenta alteração da aparência superficial, assim como degradação da sua superfície. O sistema S1 e S2 apresentaram maior alteração visual, sendo os dois constituídos pela argamassa do fabricante 1. Os sistemas S3 e S4 também apresentam alteração superficial, porém em menos intensidade. Em relação ao aparecimento de fissuras, não foi constatado sua ocorrência, devido principalmente a pequena dimensão das placas, permitindo que absorva as variações impostas sem ocasionar fissuração.

7 TRABALHOS FUTUROS

Ao longo do trabalho, com desenvolvimento do conhecimento, juntamente com as dúvidas que surgiram durante o trabalho, observou-se que com a elaboração de alguns trabalhos e ensaios complementares é possível melhorar a qualidade do trabalho assim como melhorar a compreensão sobre alguns efeitos. Para isso, aqui são propostos alguns trabalhos futuros.

Relacionado à caracterização dos materiais no estado endurecido ao longo do tempo, no trabalho realizado, há resultados e análises somente para o sistema de revestimento como um todo, não tendo assim o amplo conhecimento do comportamento dos materiais de forma separada, por isso, em um próximo trabalho, juntamente com as placas de revestimento, é possível envelhecer amostras de chapisco e argamassa, com isso obtém-se uma fonte de dados mais completa.

Uma das justificativas para o comportamento dos revestimentos perante os dados obtidos em ensaios foi a carbonatação da cal e hidratação do cimento. Para comprovar e justificar essa ocorrência alguns ensaios de microestrutura podem ser elaborados. Ensaios de termogravimetria e de difração de raios X realizados para os diferentes períodos de exposição podem auxiliar na identificação do processo de transformação dos materiais.

No decorrer da pesquisa, ainda ficou a dúvida perante o comportamento da resistência de aderência à tração para idades posteriores a imposta no ensaio. Para isso, propõe-se então em um próximo trabalho, o aumento do período de envelhecimento, gerando assim mais alguns pontos na curva de tendência, o que pode ocasionar maior confiabilidade dos resultados, assim como justificar melhor tal comportamento.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, C. S. A. **Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassa de cal aérea**. 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2008.
- ALVES, N. J. D. **Avaliação dos aditivos incorporadores de ar em argamassa de revestimento**. 2002. 174 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.
- ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. 2005. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- ARAÚJO, G. S. **Estudos de parâmetros texturais das areias para argamassas de revestimento através da análise de imagens**. 2001. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802**: concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 1994.
- _____. **NBR 13529**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995.
- _____. **NBR 12655**: concreto – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 1996a.
- _____. **NBR 13749**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – especificação. Rio de Janeiro, 1996b.
- _____. **NBR 13278**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 13279**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e compressão. Rio de Janeiro, 2005b.
- _____. **NBR 15259**: argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade. Rio de Janeiro, 2005c.
- _____. **NBR 15630**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. – Determinação do módulo de elasticidade dinâmico através da propagação de onda ultrassônica. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. **NBR 13528**: revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. – Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **ASTM G-26**: stander practice for operating light – exposure apparatus (xenos-arc type) with and without water for exposure of nonmetallic materials. 1996a.

_____. **ASTM G-53**: stander practice for operating light and water – exposure apparatus (fluorescent UV-condensation type) for exposure of nonmetallic materials. 1996b.

BASTOS, P. K. X. Módulo de deformações de argamassas: conceitos e métodos de determinação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2003. 40 f.

BLESSMANN, J. **O vento na engenharia estrutural**. Porto Alegre: UFRGS, 1998.

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

DO Ó, S. W. **Análise da retenção de água em argamassas de revestimento aditivadas**. 2004. 173 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

FIORETTI, G. B. **Avaliação do desempenho de hidrofugantes para revestimentos pétreos quanto a absorção de água e alteração de cor**. 2010. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, [2012]⁸

GASPERIN, J. **Aderência de revestimentos de argamassa em substrato de concreto**: influência da forma de aplicação e composição do chapisco. 2011. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MOURA, C. B. **Aderência de revestimentos externos de argamassa em substratos de concreto**: influência das condições de temperatura e ventilação na cura do chapisco. 2007. 232 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

LONGHI, M. A.; MASUERO, A. B.; GASPERIN, J. **Influência do tempo de aplicação da argamassa após a realização do chapisco na resistência de revestimentos aplicados em substrato de concreto**. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 53., 2011, Florianópolis. Resumos... Florianópolis: Instituto Brasileiro do Concreto, 2011, p. 275.

NETA, M. **Velocidade do som**. [S.l.], 2012. Disponível em <<http://www.fisicaequimica.net/som/velocidadedosom.html>>. Acesso em 11 nov. 2012.

PAES, I. N. L. **Avaliação do transporte de água em revestimentos de argamassa nos momentos iniciais pós-aplicação**. 2004. 242 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção

⁸ Essa dissertação ainda encontra-se em processo de homologação

Civil) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída.** 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

POYASTRO, P. C. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida.** 2011. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PRETTO, M. E. J. **Influência da rugosidade gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do revestimento de argamassa.** 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

RUDUIT, F. R. **Contribuição ao estudo da aderência de revestimentos de argamassa e chapiscos em substratos de concreto.** 2009. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SCARTEZINI, L. M. B. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca.** 2002. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Geotecnia e Construção Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

STATSOFT Statistica, version 7.0. Tulsa, USA: Statsoft Company Information, 2004.

SILVA, F. G. S. **Proposta de metodologias experimentais auxiliares à especificação e controle das propriedades físico-mecânicas dos revestimentos de argamassa.** 2006. 266 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

TEMOCHE, E. J. F. **Avaliação da influência do choque térmico na aderência dos revestimentos de argamassa.** 2009. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

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

VIEIRA, A. D. **Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro de Porto Alegre: estudo de caso.** 2005. 162 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

**APÊNDICE A – Ensaio de caracterização das argamassa
de chapisco e revestimento**

Ensaio de tração na flexão e compressão				
Chapisco 1				
CP	Tração (KN)	Flexão (Mpa)	Compressão 1(Mpa)	Compressão 2 (Mpa)
1	1,58	3,70	15,74	15,4375
2	1,5	3,52	12,05	15,075
3	1,3	3,05	15,24	12,7625
Chapisco 2				
CP	Tração (KN)	Flexão (Mpa)	Compressão 1(Mpa)	Compressão 2 (Mpa)
1	1,94	4,55	14,325	12,1875
2	1,58	3,70	9,2625	14,975
3	2,24	5,25	12,8	12,3375
Chapisco 3				
CP	Tração (KN)	Flexão (Mpa)	Compressão 1(Mpa)	Compressão 2 (Mpa)
1	1,28	3,00	11,475	11,775
2	1,3	3,05	10,7625	9,675
3	1,92	4,50	9,325	
Chapisco 4				
CP	Tração (KN)	Flexão (Mpa)	Compressão 1(Mpa)	Compressão 2 (Mpa)
1	0,96	2,25	6,275	6,6375
2	0,96	2,25	4,9875	5,475

Ensaio de tração na flexão e compressão				
Argamassa 1 = Argamassa 2				
CP	Tração (KN)	Flexão (Mpa)	Compressão 1(Mpa)	Compressão 2 (Mpa)
1	0,58	1,36	4,8125	5
2	0,54	1,27	3,9	3,9875
3	0,98	2,30	4,8	4,025
Argamassa 3				
CP	Tração (KN)	Flexão (Mpa)	Compressão 1(Mpa)	Compressão 2 (Mpa)
1	0,14	0,33	1,625	1,4625
2	0,18	0,42	1,5125	1,1375
3	0,1	0,23	1,55	1,1125
Argamassa 4				
CP	Tração (KN)	Flexão (Mpa)	Compressão 1(Mpa)	Compressão 2 (Mpa)
1	0,4	0,94	2,6375	2,725
2	0,36	0,84	2,7	2,5
3	0,38	0,89	2,1375	2,5

**APÊNDICE B – Valores encontrados no ensaio de resistência de aderência
à tração para os diferentes revestimentos de argamassa submetidos a
diferentes períodos de exposição**

Sistema 1

TO												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1	53,37	53,29	53,33	2233,68	221,8	0,99			10	90		
2	53,25	53,53	53,39	2238,71	86,4	0,39			10	70	20	
3	53,38	53,61	53,50	2247,52	70,7	0,31			10	80	10	
4	53,36	53,38	53,37	2237,03	76,5	0,34			10	85	5	
5	55,65	53,7	54,68	2347,77	94,2	0,40			5	75	20	
6	53,22	53,27	53,25	2226,56	104	0,47			10	90		
7	53,54	53,88	53,71	2265,62	92,2	0,41					100	
8	53,47	53,2	53,34	2234,10	78,5	0,35			5	85	10	
9	53,55	53,98	53,77	2270,26	121,7	0,54					100	
10	53,35	53,33	53,34	2234,51	104	0,47			5	80	15	

T1 Câmara Climatizada												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1	53,51	53,44	53,48	2245,84	88,31	0,39			10	60	30	
2	53,51	53,52	53,52	2249,20	125,60	0,56			10	70	20	
3	53,31	53,45	53,38	2237,87	92,24	0,41			10	70	20	
4	53,37	53,49	53,43	2242,06	82,43	0,37				90	10	
5	53,62	53,35	53,49	2246,68	127,56	0,57			10	50	40	
6	53,65	53,57	53,61	2257,19	104,01	0,46			10	80	10	
7	53,57	53,57	53,57	2253,83	137,38	0,61			10	70	20	
8	53,9	53,78	53,84	2276,60	94,20	0,41			10	65	25	
9	53,59	53,5	53,55	2251,72	100,09	0,44			10	80	10	
10	53,52	53,38	53,45	2243,74	45,14	0,20				100		

T1 Envelhecimento Acelerado												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1	54,78	54,92	54,85	2362,82	90,28	0,38				20	80	
2	54,42	54,66	54,54	2336,19	94,20	0,40					100	
3	54,43	54,32	54,38	2322,07	80,46	0,35					100	
4	54,94	54,8	54,87	2364,54	82,43	0,35					100	
5	55,03	54,63	54,83	2361,10	84,39	0,36					100	
6	54,81	54,63	54,72	2351,63	82,43	0,35					100	
7	54,85	54,74	54,80	2358,08	78,50	0,33					100	
8	54,62	54,97	54,80	2358,08	80,46	0,34					100	
9	54,75	54,8	54,78	2356,36	80,46	0,34					100	
10	54,3	54,68	54,49	2331,90	111,86	0,48					100	

T2 Câmara Climatizada												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1			0,00	0,00								
2	54,02	53,88	53,95	2285,91	39,25	0,17			5	90	5	
3	53,87	53,9	53,89	2280,41	74,58	0,33			5	85	10	
4	53,96	53,89	53,93	2283,80	86,35	0,38			5	90	5	
5	53,91	54,06	53,99	2288,88	151,11	0,66			15	5	80	
6	54,06	53,9	53,98	2288,46	107,94	0,47			15	5	80	
7	54,07	53,93	54,00	2290,15	172,70	0,75			10	90		
8	54,04	54,06	54,05	2294,40	135,41	0,59			5	95		
9	53,75	54,05	53,90	2281,68	121,68	0,53			5	90	5	
10	53,82	53,91	53,87	2278,72	157,00	0,69			5	95		

T2 Envelhecimento Acelerado												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1	54,14	54,12	54,13	2301,19	172,70	0,75			10	60	30	
2	54,08	54,17	54,13	2300,77	39,25	0,17			5	90	5	
3	54,21	54,36	54,29	2314,39	147,19	0,64					100	
4	54,33	54,33	54,33	2318,23	178,59	0,77					100	
5	54,25	54,11	54,18	2305,45	123,64	0,54					100	
6	53,98	53,93	53,96	2286,34	162,89	0,71					100	
7	53,84	54,05	53,95	2285,49	164,85	0,72					100	
8	53,96	53,81	53,89	2280,41	131,49	0,58					100	
9	53,85	54,1	53,98	2288,03	111,86	0,49					100	
10	54,11	54,02	54,07	2295,67	206,06	0,90					100	

Revestimentos de argamassa industrializados sobre substrato de concreto estrutural: análise do desempenho quando submetidos a envelhecimento acelerado

Sistema 2													
T0													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	53,38	52,17	52,78	2187,43	121,68	0,56		15		70	15		
2	52,12	52,35	52,24	2142,89	111,86	0,52		15		65	20		
3	52,6	53,01	52,81	2189,91	104,01	0,47				60	40		
4	53,05	52,78	52,92	2199,05	166,81	0,76		5	5	40	30		
5	52,58	52,62	52,60	2172,94	135,41	0,62		30	5	55	10		
6	52,53	52,85	52,69	2180,39	176,63	0,81		30	5	30	35		
7	53,28	53,48	53,38	2237,87	143,26	0,64				50	50		
8	53,28	53,74	53,51	2248,78	151,11	0,67				40	60		
9	53,08	53,19	53,14	2217,37	139,34	0,63				30	70		
10	53,74	53,52	53,63	2258,877433	190,36	0,84			10	10	80		

T1 Câmara Climatizada													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	53,28	53,46	53,37	2237,03	162,89	0,73		50	10	20	20		
2	53,5	53,59	53,55	2251,72	143,26	0,64				70	30		
3	50	50	50,00	1963,44	135,41	0,69						100	
4	53,77	53,34	53,56	2252,56	137,38	0,61		10	10	40	40		
5	50	50	50,00	1963,44	107,94	0,55						100	
6	52,62	51,55	52,09	2130,60	176,63	0,83				40	60		
7	52,6	52,35	52,48	2162,63	141,30	0,65				40	60		
8	50	50	50,00	1963,44	157,00	0,80						100	
9	53,48	53,42	53,45	2243,74	131,49	0,59			10	80	10		
10	52,47	53,42	52,95	2201,54	198,21	0,90			10	40	50		

T1 Envelhecimento Acelerado													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	54,2	54,6	54,40	2324,21	227,65	0,98					100		
2	54,56	54,69	54,63	2343,47	168,78	0,72			20	80			
3	50	50	50,00	1963,44	157,00	0,80						100	
4	50	50	50,00	1963,44	188,40	0,96						100	
5	54,75	54,75	54,75	2354,21	190,36	0,81					100		
6	54,78	54,75	54,77	2355,50	184,48	0,78					100		
7	50	50	50,00	1963,44	174,66	0,89						100	
8	54,71	54,72	54,72	2351,20	174,66	0,74					100		
9	50	50	50,00	1963,44	131,49	0,67						100	
10	52,66	50,53	51,60	2090,70	209,99	1,00					100		

T2 Câmara Climatizada													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	53,92	53,74	53,83	2275,76	221,76	0,97		60		20	20		
2	53,94	53,88	53,91	2282,53	172,70	0,76				30	70		
3	53,75	54,13	53,94	2285,07	182,51	0,80				30	70		
4	53,94	54,08	54,01	2291,00	229,61	1,00				40	60		
5	53,91	53,84	53,88	2279,56	245,31	1,08					100		
6	53,91	54,19	54,05	2294,40	170,74	0,74				40	60		
7	53,98	54,02	54,00	2290,15	196,25	0,86					100		
8	54,06	53,94	54,00	2290,15	221,76	0,97					100		
9	53,82	53,95	53,89	2280,41	149,15	0,65					100		
10	53,84	53,71	53,78	2271,11	145,23	0,64					100		

T2 Envelhecimento Acelerado													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	54,21	54,03	54,12	2300,34	143,26	0,62					100		
2	54,08	54,03	54,06	2294,82	139,34	0,61				40	60		
3	53,99	54	54,00	2289,73	145,23	0,63					100		
4	54,06	54,06	54,06	2295,25	137,38	0,60				60	40		
5	50	50	50,00	1963,44	164,85	0,84					100		
6	54,24	54,2	54,22	2308,85	162,89	0,71					100		
7	54	54,11	54,06	2294,82	168,78	0,74					100		
8	54,1	53,95	54,03	2292,27	168,78	0,74					100		
9	54,08	54,19	54,14	2301,62	153,08	0,67					100		
10	53,51	52,81	53,16	2219,46	0,00	0,00					100		

Sistema 3												
T0												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1												
2	47,17	47,11	47,14	1745,24	5,89	0,03			100			
3	48,2	48,08	48,14	1820,07	11,78	0,06			100			
4	46,78	46,96	46,87	1725,31	3,93	0,02			100			
5	45,41	45,68	45,55	1629,14	11,78	0,07			100			
6	45,7	46,04	45,87	1652,47	3,93	0,02			10	90		
7	45,45	45,47	45,46	1623,07	7,85	0,05			100			
8	46,68	46,78	46,73	1715,02	7,85	0,05			100			
9	46,78	46,04	46,41	1691,61	7,85	0,05			100			
10	46,92	47,84	47,38	1763,06	11,78	0,067			10	90		

T1 Câmara Climatizada												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1	52,03	51,92	51,98	2121,61	3,93	0,02			100			
2												
3	51,8	51,69	51,75	2102,88	3,93	0,02			100			
4	52,27	52,39	52,33	2150,69	11,78	0,05			100			
5												
6												
7												
8	50	50	50,00	1963,44	11,78	0,06					100	
9	52,62	52,08	52,35	2152,34	7,85	0,04			100			
10	52,57	52,6	52,59	2171,70	11,78	0,05			100			

T1 Envelhecimento Acelerado												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1	50	50	50,00	1963,44	68,69	0,35					100	
2	52,84	53,23	53,04	2209,03	72,61	0,33				100		
3	53,35	53	53,18	2220,71	80,46	0,36				100		
4	54,41	54,2	54,31	2316,10	49,06	0,21			100			
5	53,3	53,41	53,36	2235,77	74,58	0,33			100			
6	52,62	51,64	52,13	2134,29	51,03	0,24			100			
7	53,6	52,28	52,94	2201,13	82,43	0,37			100			
8	50	50	50,00	1963,44	56,91	0,29					100	
9	53,03	52,41	52,72	2182,87	60,84	0,28			100			
10	54,3	54,01	54,16	2303,32	68,69	0,30			100			

T2 Câmara Climatizada												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1	50,53	50,34	50,44	1997,75	58,88	0,29				100		
2	51,57	51,49	51,53	2085,44	54,95	0,26			90	10		
3	52,03	51,73	51,88	2113,86	13,74	0,06			90	10		
4	51,11	51,02	51,07	2047,97	15,70	0,08			95	5		
5	51,42	50,92	51,17	2056,40	3,93	0,02			100			
6	49,66	49,43	49,55	1927,87	13,74	0,07			95	5		
7	48,11	48,96	48,54	1850,07	0,00	0,00			90	10		
8	50,67	50,64	50,66	2015,22	13,74	0,07			90	10		
9	50,22	50,07	50,15	1974,84	9,81	0,05			85	15		
10	50	50	50,00	1963,44	19,63	0,10			50	50		

T2 Envelhecimento Acelerado												
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)					
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola
1	54,44	54,51	54,48	2330,62	37,29	0,16			70	30		
2	54,41	54,64	54,53	2334,90	35,33	0,15			80	20		
3	54,49	54,34	54,42	2325,49	56,91	0,24			80	20		
4	54,23	54,43	54,33	2318,23	29,44	0,13			90	10		
5	54,19	54,28	54,24	2310,13	41,21	0,18			90	10		
6	54,19	54,39	54,29	2314,82	29,44	0,13			90	10		
7	54,42	54,36	54,39	2323,35	74,58	0,32			70	30		
8	54,32	54,36	54,34	2319,08	37,29	0,16			90	10		
9	53,93	53,51	53,72	2266,47	109,90	0,48				100		
10	54,33	53,34	53,84	2276,18	80,46	0,35			30	50		

Revestimentos de argamassa industrializados sobre substrato de concreto estrutural: análise do desempenho quando submetidos a envelhecimento acelerado

Sistema 4													
T0													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	52,14	52,08	52,11	2132,65	47,1	0,22			60	40			
2	52,6	52,47	52,54	2167,58	45,1	0,21			40	60			
3	52,69	52,52	52,61	2173,36	47,1	0,22		10	10	50	30		
4	52,59	52,69	52,71	2181,63	51	0,23			60	40			
5	52,72	52,47	52,38	2154,81	23,6	0,11			60	40			
6	52,29	52,82	52,81	2190,33	23,6	0,11			70	30			
7	52,8	52,22	52,62	2174,18	47,1	0,22			30	70			
8	53,01	53,26	53,01	2206,53	47,1	0,21			70	30			
9	52,75	52,17	52,55	2168,82	29,4	0,14			75	25			
10	52,93	52,27	52,34	2151,10	54,95	1,02			60	40			

T1 Câmara Climatizada													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	53,81	53,73	53,77	2270,69	90,28	0,40			70	30			
2	53,8	53,99	53,90	2281,26	64,76	0,28			70	30			
3	54,1	53,85	53,98	2288,03	45,14	0,20			80	20			
4	53,45	53,62	53,54	2250,88	17,66	0,08			90	10			
5	53,92	54,03	53,98	2288,03	60,84	0,27			90	10			
6	53,75	54,04	53,90	2281,26	56,91	0,25			80	20			
7	53,71	53,77	53,74	2268,15	64,76	0,29			90	10			
8	53,48	53,87	53,68	2262,67	68,69	0,30			90	10			
9	53,53	53,36	53,45	2243,32	72,61	0,32			90	10			
10	53,62	53,91	53,77	2270,26	62,80	0,28			90	10			

T1 Envelhecimento Acelerado													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	53,91	54,54	54,23	2309,28	213,91	0,93			70	30			
2	54,58	54,88	54,73	2352,49	88,31	0,38			70	30			
3	54,49	54,91	54,70	2349,91	137,38	0,58			80	20			
4	54,61	54,84	54,73	2352,06	127,56	0,54			90	10			
5	54,35	54,66	54,51	2333,19	74,58	0,32			90	10			
6	54,45	54,65	54,55	2337,04	164,85	0,71			80	20			
7	54,71	54,72	54,72	2351,20	164,85	0,70			90	10			
8	55,17	54,58	54,88	2364,97	141,30	0,60			90	10			
9	54,52	54,58	54,55	2337,04	131,49	0,56			90	10			
10	55,39	55,45	55,42	2412,18	109,90	0,46			90	10			

T2 Câmara Climatizada													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	53,71	53,76	53,74	2267,73	58,88	0,26		30	10	40	20		
2	53,7	53,68	53,69	2263,93	60,84	0,27			90	10			
3	53,68	52,27	52,98	2204,04	47,10	0,21		10	80	10			
4	53,53	53,7	53,62	2257,61	54,95	0,24		10	80	10			
5	52,5	50,33	51,42	2076,14	84,39	0,41			90	10			
6	53,58	53,46	53,52	2249,62	49,06	0,22		10	80	10			
7	53,26	52,34	52,80	2189,50	84,39	0,39			90	10			
8	52,4	51,15	51,78	2105,32	151,11	0,72		10	80	10			
9	50,14	51,27	50,71	2019,20	84,39	0,42			5	90	5		
10	52,11	52,31	52,21	2140,84	25,51	0,12			90	10			

T2 Envelhecimento Acelerado													
Corpo de Prova					Carga Ruptura (N)	Tensão (Mpa)	Formas de Ruptura (%)						
nº	d1 (mm)	d2 (mm)	dm (mm)	Área (mm ²)			Sub	Sub/chap	chap	chap/arg	arg	arg/cola	cola/past
1	50	50	50,00	1963,44	51,03	0,26		5	5	70	15		
2	53,86	53,92	53,89	2280,83	52,99	0,23			50	50			
3	53,85	53,78	53,82	2274,49	90,28	0,40			70	30			
4	53,96	54,02	53,99	2289,31	107,94	0,47			60	40			
5	50	50	50,00	1963,44	125,60	0,64				100			
6	50	50	50,00	1963,44	96,16	0,49			50	50			
7	50	50	50,00	1963,44	135,41	0,69			60	40			
8	53,59	50,91	52,25	2144,12	80,46	0,38			50	50			
9	50	50	50,00	1963,44	147,19	0,75			60	40			
10	50	50	50,00	1963,44	196,25	1,00				100			

APÊNDICE C – Valores encontrados no ensaio de ultrassom das placas de revestimento

Sistema 1			Sistema 2		
Velocidade de propagação (m/s)			Velocidade de propagação (m/s)		
T0	T1	T2	T0	T1	T2
2500	3787	3968	2600	4045	4263
2512	3787	3846	2574	4045	4263
2500	3816	3875	2598	4015	4198
2500	3731	3846	2610	4015	4263
2639	3676	3846	2650	4015	4230
2574	3649	3759	2606	3758	3928
2587	3622	3731	2694	3897	3900
2626	3676	3846	2600	4045	4296
2587	3759	3846	2536	3984	4230
2587	3676	3816	2623	4015	4263
2587	3787	3875	2623	4015	4198
2600	3649	3759	2657	3812	4040
2536	3731	3875	2606	3785	3985
2600	3787	3937	2696	3955	3900
Sistema 3			Sistema 4		
Velocidade de propagação (m/s)			Velocidade de propagação (m/s)		
T0	T1	T2	T0	T1	T2
1773	3448	3379	2533	3758	4000
1811	3311	3379	2477	3809	3888
1818	3311	3288	2434	3758	3888
1851	3311	-	2424	3684	3758
1811	3378	3356	2424	3660	3684
1824	3401	3402	2434	3566	3636
1785	3424	3525	2382	3708	3783
1805	3378	3402	2372	3916	3916
1851	3401	3402	2372	3783	3888
1851	3205	3288	2304	3809	3888
1838	3225	3288	2323	3660	3758
1893	3289	3288	2372	3544	3636
1886	3424	3475	2424	3660	3733
1930	3597	-	2382	3684	3809