

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Thiana Dias Herrmann

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO À ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE
DIFERENTES REVESTIMENTOS PARA A RECUPERAÇÃO DE UMA
FACHADA DEGRADADA**

**Santa Maria, RS
2017**

Thiana Dias Herrmann

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO À ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE DIFERENTES
REVESTIMENTOS PARA A RECUPERAÇÃO DE UMA FACHADA DEGRADADA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof Dr. Gihad Mohamad

**Santa Maria, RS
2017**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Herrmann, Thiana Dias

Avaliação do desempenho à estanqueidade à água de diferentes revestimentos para a recuperação de uma fachada degradada / Thiana Dias Herrmann.- 2017.

195 p. ; 30 cm

Orientador: Gihad Mohamad

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2017

1. Argamassa 2. Hidrorrepelente 3. Manifestação patológica I. Mohamad, Gihad II. Título.

©2017

Todos os direitos autorais reservados a Thiana Dias Herrmann. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: thianadh@gmail.com

Thiana Dias Herrmann

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO À ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE DIFERENTES
REVESTIMENTOS PARA A RECUPERAÇÃO DE UMA FACHADA DEGRADADA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 13 de dezembro de 2017:

Gihad Mohamad, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Carina Mariane Stolz, Dra. (FEEVALE)

Helena Carasek, Dra. (UFG - videoconferência)

Santa Maria, RS
2017

Dedico este trabalho aos meus pais, Dari e Jurema, e ao meu irmão Thiago, por todo apoio, compreensão e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me guiou, iluminou e amparou-me durante toda esta trajetória.

Ao meu orientador, professor Dr. Gihad Mohamad, pela confiança e todos os ensinamentos concedidos a mim. Por toda disponibilidade, compreensão, paciência e dedicação. E à sua família, que sempre me recebeu com muito carinho. Muito obrigada!

À Universidade Federal de Santa Maria, pela infraestrutura do Laboratório de Materiais de Construção Civil, onde foi possível realizar todos os ensaios laboratoriais.

Aos técnicos de laboratório: José Pedro, por ter me auxiliado durante os ensaios, e ao Wilson, pelas incansáveis vezes em que me ajudou nas mais diversas atividades, do início ao fim.

À discente Julia Brust, que me acompanhou e auxiliou nos ensaios tecnológicos.

Às empresas que forneceram sem custo os materiais avaliados, tornando possível o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os meus amigos e colegas que, longe ou perto, sempre me ajudaram, torceram e acreditaram em mim.

E, com toda certeza, aos meus pais, Dari e Jurema, que sempre confiaram em mim, e tiveram toda a compreensão das minhas ausências. Sou imensamente grata por terem me ensinado a seguir pelo melhor caminho, a batalhar por tudo aquilo que sempre almejei, e me fazerem enxergar que tudo é possível quando é feito com o coração. Sem dúvida, são meu maior orgulho, minha inspiração para vida toda. Agradeço imensamente ao meu irmão Thiago, que sempre esteve ao meu lado, incentivando-me nas minhas escolhas, e que muito me ensinou. Com certeza, é o meu espelho. Muito obrigada por tudo, eu amo vocês!

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, proporcionaram o desenvolvimento desta dissertação. Muito obrigada!

*A mente que se abre a uma nova ideia jamais
voltará ao seu tamanho original.*

(Albert Einstein)

RESUMO

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO À ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE DIFERENTES REVESTIMENTOS PARA A RECUPERAÇÃO DE UMA FACHADA DEGRADADA

AUTORA: Thiana Dias Herrmann

ORIENTADOR: Gihad Mohamad

Um dos principais fatores responsáveis pela degradação de fachadas é a umidade, acarretando o surgimento de manifestações patológicas e diminuição da vida útil do revestimento. Deste modo, torna-se necessário o conhecimento de revestimentos que sejam estanques à água, tecnologicamente e economicamente viáveis, possibilitando a recuperação de fachadas degradadas. Neste escopo, esta pesquisa objetivou a avaliação de revestimentos disponíveis no mercado da construção civil, com foco na sua capacidade de estanqueidade à água. Para isto, foram avaliados doze revestimentos, sendo oito argamassas, as quais se dividem em industrializadas e dosadas em obras, e quatro hidrorrepelentes formadores de película. Uma das argamassas industrializadas foi utilizada como referência de comparação, a qual não possui nenhum componente impermeabilizante. Realizou-se o estudo a partir de ensaios laboratoriais de permeabilidade ao vapor de água, absorção de água por capilaridade, evaporação, resistência à tração na flexão e à compressão. E ainda, a existência de uma fachada degradada pela ação da umidade com orientação solar sul, localizada na cidade de Santa Maria/RS, que permitiu um estudo de caso a partir da aplicação dos revestimentos e realização de ensaios *in loco* de permeabilidade à água líquida, absorção e evaporação, termografia e de resistência de aderência à tração. Também, realizou-se a composição de custos de cada revestimento estudado, permitindo a análise de custo/benefício. Ao final do cumprimento de toda metodologia, foi possível extrair as considerações sobre os revestimentos avaliados. Assim sendo, os revestimentos hidrorrepelentes se mostraram mais eficientes em relação à estanqueidade à água, apresentando, também, menor custo de aplicação quando utilizados com intuito de recuperação de fachadas degradadas.

Palavras-chave: Argamassa. Hidrorrepelente. Manifestação patológica.

ABSTRACT

EVALUATION OF WATERTIGHT PERFORMANCE OF DIFFERENT COATINGS FOR THE RECOVERY OF A DEGRADED FAÇADE

AUTHOR: Thiana Dias Herrmann
ADVISOR: Gihad Mohamad

One of the main factors responsible for the degradation of façades is the humidity, causing the appearance of pathological manifestations and shortening the useful life of the coating. In this way, it becomes necessary to know coatings that are watertight as well as technologically and economically feasible in order to enable the recovery of degraded façades. In this scope, this research aimed at the evaluation of coatings available in the civil construction market, focusing on their watertightness. To this end, a total of twelve coatings were evaluated, of which eight were mortars divided into industrialized and dosed in constructions, and four water repellent film-forming agents. One of the industrialized mortars was used as a reference for comparison, which does not have any waterproofing component. The study was carried out from laboratory tests of permeability to water vapor, water absorption by capillarity, evaporation, tensile strength in flexion and compression. In addition, the existence of a degraded façade due to the action of moisture with a southern solar orientation, located in the city of Santa Maria/RS, allowed a case study from the application of the coatings and in situ tests of permeability to liquid water, absorption and evaporation, thermography and tensile adhesion strength. Also, we performed the cost composition of each coating studied, allowing the cost/benefit analysis. At the end of the fulfillment of all the methodology, it was possible to extract the considerations on the evaluated coatings. Therefore, water repellent coatings have been shown to be more efficient in relation to watertight and have also presented lower application cost when used for the recovery of degraded façades.

Keywords: Mortar. Water repellent. Pathological manifestation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Porosidade aberta (a) e porosidade fechada (b)	34
Figura 2 – Representação esquemática da estrutura porosa de uma argamassa.....	34
Figura 3 – Diferenças entre permeabilidade e porosidade	35
Figura 4 – Fases de higroscopicidade de um material.....	36
Figura 5 – Fenômeno de capilaridade	39
Figura 6 – Ângulo de contato de uma gota em materiais hidrófilos e hidrófugos sobre uma superfície plana.....	40
Figura 7 – Transporte da água por difusão	41
Figura 8 – Fases do fenômeno de secagem	42
Figura 9 – Progresso característico do teor de água de um material poroso durante a secagem	43
Figura 10 – Rosa dos ventos da frequência de ocorrência dos ventos para Santa Maria/RS ...	48
Figura 11 – Fases de interação de água nas fachadas.....	49
Figura 12 – Mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004	51
Figura 13 – Anomalias em edifícios.....	53
Figura 14 – Processos de deterioração dos revestimentos de argamassa	54
Figura 15 – Manifestação patológica por fissuras	56
Figura 16 – Formas de descolamento	57
Figura 17 – Manifestação patológica de vesículas	58
Figura 18 – Manifestação patológica de eflorescência.....	59
Figura 19 – Manifestação patológica de sujidade	60
Figura 20 – Manifestações patológicas de degradação biológica.....	61
Figura 21 – Estrutura para avaliação de uma manifestação patológica.....	63
Figura 22 – Etapas e importância de um diagnóstico das manifestações patológicas em um edifício.....	65
Figura 23 – Classificação dos hidrorrepelentes: (a) formação de película; (b) bloqueadores de poros; (c) hidrofugantes de superfície.	70
Figura 24 – Desempenho ao longo do tempo	75
Figura 25 – Lei de evolução de custos ou Lei de Sitter.....	76
Figura 26 – Agentes de degradação dos revestimentos das vedações verticais	77
Figura 27 – Distribuição das anomalias em elementos construtivos de edifícios	78
Figura 28 – Camadas de revestimento de argamassa mais empregados: (a) chapisco + emboço + reboco + pintura; (b) chapisco + camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM)	85
Figura 29 – Espessuras admissíveis de revestimentos argamassados	86
Figura 30 – Delineamento da pesquisa.....	89
Figura 31 – Localização da fachada em estudo.....	90
Figura 32 – Manifestações patológicas existentes na fachada	92
Figura 33 – Processo de limpeza da fachada em estudo.....	97
Figura 34 – Distribuição dos revestimentos na fachada em estudo (níveis em metros).....	98
Figura 35 – Copo teste para realização do ensaio com o corpo de prova e a solução.....	107
Figura 36 – Etapas do ensaio de permeabilidade ao vapor.....	108
Figura 37 – Câmara climática utilizada no ensaio.....	111
Figura 38 – Etapas da montagem dos copos teste	111
Figura 39 – Corpos de prova no ensaio de capilaridade.....	113
Figura 40 – Etapas do ensaio de evaporação.....	115
Figura 41 – Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão	117

Figura 42 – Tubo de Karsten.....	118
Figura 43 – Etapas ensaio de absorção e evaporação	121
Figura 44 – Câmera infravermelha utilizada para registro das imagens termográficas.....	122
Figura 45 – Equipamento utilizado para medição da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.....	123
Figura 46 – Procedimento de ensaio de resistência de aderência à tração.....	125
Figura 47 – Ganho de massa diário das argamassas de recuperação profunda.....	128
Figura 48 – Ganho de massa diária das argamassas de recuperação superficial	129
Figura 49 – Ganho de massa diário dos hidrorrepelentes	131
Figura 50 – Absorção de água por capilaridade acumulada para as argamassas de recuperação profunda	132
Figura 51 – Altura de ascensão capilar nos corpos de prova de argamassa de recuperação profunda	133
Figura 52 – Absorção de água por capilaridade acumulada para as argamassas de recuperação superficial.....	135
Figura 53 – Absorção de água por capilaridade acumulada para os hidrorrepelentes.....	137
Figura 54 – Curva de evaporação das argamassas de recuperação profunda	139
Figura 55 – Curva de evaporação das argamassas de recuperação superficial.....	140
Figura 56 – Curva de evaporação dos hidrorrepelentes.....	141
Figura 57 – Resistência média à tração na flexão e à compressão das argamassas de recuperação profunda.....	143
Figura 58 – Permeabilidade à água líquida pelo método do cachimbo das argamassas.....	146
Figura 59 – Manchamento nos revestimentos em argamassa devido à permeabilidade da água	150
Figura 60 – Destacamento da pintura na retirada dos cachimbos.....	151
Figura 61 – Ensaio e resultado de emissividade para cada revestimento	156
Figura 62 – Ensaio de termografia para os revestimentos hidrorrepelentes	157
Figura 63 – Ensaio de termografia para os revestimentos em argamassa.....	158
Figura 64 – Ensaio de termografia no revestimento de argamassa AP-DO-L.....	159
Figura 65 – Resistência de aderência à tração média e coeficiente de variação das argamassas	162
Figura 66 – Custo/m ² total dos revestimentos.....	166

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Redução da permeabilidade da pasta de cimento com a evolução da hidratação...	38
Tabela 2 – Particularidades das argamassas de recuperação profunda	129
Tabela 3 – Particularidades das argamassas de recuperação superficial	130
Tabela 4 – Particularidades dos hidrorrepelentes	131
Tabela 5 – Absorção de água por capilaridade total para as argamassas de recuperação profunda.....	134
Tabela 6 – Correlação entre os resultados de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade das argamassas de recuperação profunda.....	135
Tabela 7 – Absorção de água por capilaridade total para as argamassas de recuperação superficial	136
Tabela 8 – Correlação entre os resultados de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade das argamassas de recuperação superficial	136
Tabela 9 – Absorção de água por capilaridade total para os hidrorrepelentes	138
Tabela 10 – Correlação entre os resultados de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade dos hidrorrepelentes	138
Tabela 11 – Particularidades das argamassas de recuperação profunda no ensaio de evaporação.....	140
Tabela 12 – Particularidades das argamassas de recuperação superficial no ensaio de evaporação.....	141
Tabela 13 – Particularidades dos hidrorrepelentes no ensaio de evaporação.....	142
Tabela 14 – Correlação entre os resultados de resistência à tração na flexão e à compressão com a permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade	144
Tabela 15 – Quantidade de água permeada nos revestimentos de argamassa.....	147
Tabela 16 – Coeficiente de absorção e absorção de água dos revestimentos de argamassa ..	147
Tabela 17 – Correlação entre os resultados de permeabilidade a água líquida com a permeabilidade ao vapor de água, absorção de água por capilaridade e resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas de recuperação profunda.....	148
Tabela 18 – Correlação entre os resultados de permeabilidade a água líquida com a permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade das argamassas de recuperação superficial	149
Tabela 19 – Distância absorvida, largura de espalhamento e tempo médio de evaporação da água nos revestimentos de argamassa	155
Tabela 20 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas de recuperação profunda	160
Tabela 21 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas de recuperação superficial	161
Tabela 22 – Custo/m ² total dos revestimentos.....	165

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação, dimensão e influência dos poros	33
Quadro 2 – Intervenções de correção de manifestações patológicas ocasionadas pela umidade	72
Quadro 3 – Técnicas de limpeza.....	73
Quadro 4 – Propriedades do estado fresco da argamassa.....	82
Quadro 5 – Propriedades do estado endurecido da argamassa	83
Quadro 6 – Discriminação dos revestimentos de argamassa.....	94
Quadro 7 – Discriminação dos revestimentos hidrorrepelentes	96
Quadro 8 – Recomendações de aplicação dos revestimentos de argamassa	99
Quadro 9 – Aplicação dos revestimentos de argamassa.....	101
Quadro 10 – Recomendações de aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes.....	104
Quadro 11 – Aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes	105
Quadro 12 – Idade de cada etapa do ensaio de evaporação.....	115
Quadro 13 – Absorção e evaporação da água para as argamassas de recuperação profunda. 152	
Quadro 14 – Absorção e evaporação da água para as argamassas de recuperação superficial	154
Quadro 15 – Exemplos de amostras da forma de ruptura das argamassas de recuperação profunda.....	163
Quadro 16 – Exemplos de amostra da forma de ruptura das argamassas de recuperação superficial	164

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	25
1.1	JUSTIFICATIVA	27
1.2	OBJETIVOS	28
1.2.1	Objetivo geral.....	28
1.2.2	Objetivos específicos.....	28
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	31
2.1	TRANSPORTE DE ÁGUA NOS MATERIAIS	31
2.1.1	Materiais porosos.....	32
2.1.2	Mecanismos de fixação da umidade nos materiais	35
2.1.2.1	<i>Adsorção física</i>	36
2.1.2.2	<i>Condensação capilar.....</i>	36
2.1.3	Mecanismos de transporte da umidade nos materiais	37
2.1.3.1	<i>Mecanismo de transporte da umidade na fase líquida: capilaridade e forças externas... 38</i>	
2.1.3.2	<i>Mecanismo de transporte da umidade na fase de vapor: difusão e convecção</i>	40
2.1.4	Mecanismo de secagem da umidade nos materiais.....	41
2.2	FORMAS DA MANIFESTAÇÃO DA UMIDADE EM EDIFICAÇÕES	43
2.2.1	Umidade de construção	44
2.2.2	Umidade do terreno	45
2.2.3	Umidade de precipitação.....	45
2.2.4	Umidade de condensação	46
2.2.5	Umidade devida a fenômenos de higroscopicidade	46
2.2.6	Umidade devido a causas fortuitas.....	47
2.3	AGENTES CLIMÁTICOS.....	47
2.3.1	Vento	47
2.3.2	Precipitação pluviométrica	48
2.3.3	Temperatura do ar	51
2.3.4	Umidade relativa do ar.....	52
2.4	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS.....	52
2.4.1	Principais manifestações patológicas	54
2.4.1.1	<i>Fissuras e trincas.....</i>	55
2.4.1.2	<i>Descolamento e destacamento.....</i>	56
2.4.1.3	<i>Vesículas</i>	58
2.4.1.4	<i>Eflorescência</i>	58
2.4.1.5	<i>Sujidades.....</i>	59
2.4.1.6	<i>Degradação biológica</i>	60
2.4.2	Avaliação das manifestações patológicas em fachadas.....	62
2.4.2.1	<i>Levantamento dos subsídios</i>	63
2.4.2.2	<i>Diagnóstico da situação</i>	64
2.4.2.3	<i>Definição de conduta.....</i>	65
2.5	TRATAMENTO DE UMIDADE EM FACHADAS	66
2.5.1	Tipos de tratamento.....	67
2.5.1.1	<i>Argamassa com aditivo impermeabilizante.....</i>	68
2.5.1.2	<i>Argamassa polimérica.....</i>	69
2.5.1.3	<i>Membrana acrílica para impermeabilização: hidrorrepelentes</i>	69
2.5.2	Escolha do tratamento.....	71
2.5.3	Recuperação de fachadas degradadas pela umidade	71
2.5.4	Limpeza da fachada.....	73

2.6	DESEMPENHO À ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE FACHADAS.....	74
2.7	REVESTIMENTO DE ARGAMASSA.....	78
2.7.1	Funções da argamassa	79
2.7.2	Constituição da argamassa.....	79
2.7.2.1	<i>Aglomerante</i>	79
2.7.2.2	<i>Agregado.....</i>	80
2.7.2.3	<i>Água de amassamento.....</i>	81
2.7.2.4	<i>Adições e aditivos.....</i>	81
2.7.3	Propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido	82
2.7.4	Principais tipos de revestimentos de argamassa.....	84
2.7.4.1	<i>Argamassa de revestimento.....</i>	84
2.7.4.2	<i>Argamassa colante</i>	86
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL	89
3.1	ETAPA I – SELEÇÃO E APLICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS	90
3.1.1	Identificação das manifestações patológicas.....	91
3.1.2	Revestimentos	93
3.1.2.1	<i>Revestimentos de argamassa.....</i>	94
3.1.2.2	<i>Revestimentos hidrorrepelentes</i>	96
3.1.3	Limpeza da fachada	97
3.1.4	Aplicação dos revestimentos.....	98
3.1.4.1	<i>Aplicação dos revestimentos de argamassa.....</i>	98
3.1.4.2	<i>Aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes</i>	104
3.2	ETAPA II – ENSAIOS TECNOLÓGICOS.....	106
3.2.1	Ensaio laboratoriais.....	106
3.2.1.1	<i>Permeabilidade ao vapor de água</i>	107
3.2.1.2	<i>Absorção de água por capilaridade.....</i>	112
3.2.1.3	<i>Evaporação</i>	113
3.2.1.4	<i>Resistência à tração na flexão e à compressão.....</i>	115
3.2.2	Ensaio <i>in loco</i>	117
3.2.2.1	<i>Permeabilidade à água líquida.....</i>	117
3.2.2.2	<i>Ensaio empírico de absorção e evaporação da água</i>	120
3.2.2.3	<i>Termografia.....</i>	121
3.2.2.4	<i>Resistência de aderência à tração</i>	124
3.3	ETAPA III – ANÁLISE DE CUSTOS	125
3.3.1	Composição de custos dos revestimentos	126
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	127
4.1	ENSAIOS LABORATORIAIS.....	127
4.1.1	Permeabilidade ao vapor de água.....	127
4.1.1.1	<i>Argamassas</i>	127
4.1.1.2	<i>Hidrorrepelentes</i>	130
4.1.2	Absorção de água por capilaridade.....	132
4.1.2.1	<i>Argamassas</i>	132
4.1.2.2	<i>Hidrorrepelentes</i>	137
4.1.3	Evaporação	138
4.1.3.1	<i>Argamassas</i>	138
4.1.3.2	<i>Hidrorrepelentes</i>	141
4.1.4	Resistência à tração na flexão e à compressão.....	142
4.2	ENSAIOS <i>IN LOCO</i>	144
4.2.1	Permeabilidade à água líquida.....	145
4.2.2	Ensaio empírico de absorção e evaporação da água	151

4.2.3	Termografia.....	155
4.2.4	Resistência de aderência à tração.....	159
4.3	ANÁLISE PRELIMINAR DE CUSTOS	164
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	167
5.1	CONCLUSÕES	167
5.1.1	Ensaio laboratoriais	167
5.1.2	Ensaio <i>in loco</i>	169
5.1.3	Comparação entre os revestimentos de argamassa e os hidrorrepelentes	170
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	171
	REFERÊNCIAS	173
	APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO E CIMENTO.....	187
	APÊNDICE B – RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO	189
	APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS.....	193

1 INTRODUÇÃO

As fachadas desempenham importantes funções para a conservação da durabilidade dos edifícios, são responsáveis pela proteção contra os agentes agressivos e, conseqüentemente, pela manutenção da vida útil. A durabilidade de uma edificação e de seus sistemas é considerada um requisito econômico do usuário, estando associada diretamente ao custo total global do bem imóvel e extinguindo-se quando não mais atender àquelas funções que lhe foram impostas, podendo ser pela degradação ou defasagem funcional (NBR 15575-1, ABNT 2013).

Qualquer elemento de construção sofre processo de degradação, o qual pode ser acelerado ou retardado conforme as condições de exposição, da própria sensibilidade à degradação, e também, pelas intervenções de manutenção (preventivas ou corretivas). A degradação das fachadas no Brasil, infelizmente, ainda é alocada em segundo plano nas averiguações científicas das patologias (BAUER *et al.*, 2015). A deficiência de políticas apropriadas de manutenção de edificações é o fator que leva à degradação atual e ao próprio envelhecimento precoce dos elementos do edifício, incluindo-se os elementos de fachada, sendo que a umidade é a principal causa do surgimento das anomalias neste elemento (MADUREIRA *et al.*, 2017).

Marsh (1977, *apud* BLOCKEN *et al.*, 2013) proferiu que: "Todos os edifícios, quaisquer que sejam as deficiências que possam ter, são obrigados a possuir duas características fundamentais. Eles devem ser estruturalmente sólidos e devem excluir a umidade". A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) comenta que a exposição dos materiais à água, seja proveniente da chuva, do solo ou do próprio uso da edificação, deve ser considerada em projeto, pelo fato de a umidade acelerar os mecanismos de deterioração e ocasionar a perda das condições de habitabilidade e de higiene do edifício. Assim, um dos requisitos da edificação é garantir a estanqueidade ao sistema às fontes de umidade.

Em uma edificação, o principal agente responsável pela degradação de um grande grupo de materiais de construção civil é a água, a qual está em constante contato com determinados elementos ou sistemas. Deste modo, é indispensável um adequado controle da umidade em uma edificação ou sistema, pois evita o surgimento de inúmeras manifestações patológicas que impactam inteiramente na sua vida útil (NBR 15575-3, ABNT 2013).

De fato, é extremamente importante minimizar os efeitos da umidade na conservação de edifícios, pois a umidade é um dos principais fatores que causa a degradação dos materiais porosos de construção. Esta degradação pode ocasionar uma modificação da estética dos

elementos afetados, como o surgimento de eflorescência, colonização biológica, manchas, entre outros, ou ainda acarretar uma modificação estrutural, por meio da manifestação de fissuras, deslocamentos, etc. (GONÇALVES *et al.*, 2014). Nas fachadas, a degradação é decorrente principalmente da ação conjunta da chuva, vento, variações térmicas, poluentes atmosféricos e biológicos, fazendo com que a água da chuva escorra através da superfície vertical, lavando a fachada e depositando agentes agressivos (CHEW, 2003).

De acordo com Henriques (2007), a umidade nas construções é responsável pela origem das anomalias, que se dá pela evaporação da água existente ou simplesmente pelos materiais possuírem água em excesso no seu interior. Quando a água evapora, ocorre expansões ou destaques de certos materiais, e a existência de teor de água acima do normal provoca o surgimento de manifestações patológicas.

Quando a umidade entra em contato com o revestimento da fachada, ocorre o transporte de água em função da estrutura porosa do material, permitindo a penetração de partículas agressoras que podem levar ao surgimento de manifestações patológicas que afetam diretamente o desempenho da edificação. Portanto, a porosidade dos materiais está inteiramente ligada à suscetibilidade de maior ou menor quantidade de transferência de agentes agressivos através do revestimento, devendo-se cumprir com a conduta de estanqueidade e proteção dos paramentos exteriores.

Uma das características dos revestimentos que se sobressai é a permeabilidade, sendo necessário que sejam suficientemente permeáveis ao vapor de água e o menos possível permeáveis à água líquida. Ou seja, devem permitir a passagem do vapor de água proveniente do interior das edificações para o exterior ou devolver a água absorvida pelo revestimento na forma de vapor quando houver condições atmosféricas favoráveis, e ainda, impedir a penetração de água em níveis que possam causar perda de durabilidade do revestimento. Porém, constata-se que, na prática, os revestimentos não agem desta forma, quanto menos forem permeáveis à água na forma líquida, menos permeáveis são ao vapor de água, e vice-versa (OLIVEIRA, 2013).

Desta forma, tratando-se de fachadas, é necessário o estudo de revestimentos que, ao entrarem em contato com a umidade, impeçam sua entrada no material e, conseqüentemente, diminuam a probabilidade do surgimento de uma manifestação patológica. Para atingir esse interesse, podem-se utilizar aditivos ou adições impermeabilizantes na mistura da argamassa ou ainda produtos superficiais hidrorrepelentes, que garantam a estanqueidade das fachadas

das edificações, analisando juntamente se propiciam o alcance deste parâmetro. Ou também, empregar outros revestimentos que possam proporcionar esta característica.

Há, no mercado da construção civil, diversos produtos com propriedades hidrofugantes que possibilitam a obtenção de revestimentos estanques à água. Entretanto, geralmente, as informações sobre suas composições químicas e até mesmo o nível de redução de permeabilidade à água são escassos. Pouco se sabe sobre seu real desempenho contra a ação da umidade, criando a dúvida se realmente trazem ao usuário e à edificação a relação de custo/benefício.

Este fato é exposto por Salomão (2016). Primeiramente, a autora menciona que, para proteger ou tratar as edificações da ação da umidade, deve-se escolher um método baseado em análises detalhadas da estrutura a ser tratada e de seus materiais, da condição de exposição, bem como dos mecanismos de transporte de umidade. Dentro deste escopo, segundo a autora, pode-se empregar diversos produtos impermeabilizantes disponíveis no mercado, porém as suas propriedades não são informadas (composição química ou mecanismo de ação), mostrando que há um enorme número de questionamentos sobre os produtos de ação impermeabilizante.

Portanto, neste trabalho, realizou-se o estudo de recuperação de uma fachada degradada, a partir da avaliação do desempenho à estanqueidade à água de diferentes produtos disponíveis no mercado da construção civil com finalidade de revestir e capazes de repelir a água. Os fabricantes dos produtos garantem este atributo, mas há poucos estudos que confirmam esta hipótese e exploram quais as melhores alternativas. Utilizaram-se tanto aditivos impermeabilizantes adicionados em argamassas, quanto argamassas industrializadas, bem como hidrorrepelentes. Tal estudo se realizou a partir da aplicação dos revestimentos em uma fachada com orientação solar sul existente e degradada pela ação da umidade, localizada na cidade de Santa Maria/RS, proporcionando a análise *in loco*, assim como de ensaios laboratoriais e, posteriormente, de custos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Gaspar e Brito (2005) mapearam a sensibilidade à degradação de fachadas de revestimento de argamassa a partir da coleta de dados no Sul de Portugal em 150 fachadas escolhidas aleatoriamente, e revelaram que 25% dos casos deviam-se ao fluxo de água superficial através da fachada, e ainda 11% eram provocados por manchas e infiltração. Também Silva (2007) estudou as manifestações patológicas em fachadas com revestimentos

de argamassa em edifícios de Florianópolis/SC, e constatou que a umidade foi responsável pelo surgimento de 53% das anomalias e a temperatura influenciou 35% dos casos, sendo que a origem foi possibilitada principalmente pela ausência ou falhas de projeto, falhas de execução e, também, uma pequena parcela pela manutenção.

Foram investigadas por Brito *et al.* (2011) as principais reclamações de usuários de 42 empreendimentos habitacionais de interesse social localizados no Estado do Rio Grande do Sul, sendo que, no sistema de vedações verticais, 73% das reclamações foram a respeito de fissuras e infiltração nas paredes. Silva *et al.* (2016) realizaram um estudo comparativo de levantamentos de manifestações patológicas em fachadas de um conjunto habitacional de interesse social na cidade de Pelotas/RS, e constataram que 74% das manifestações patológicas apresentadas foram fissuras, mais ocorrentes nas fachadas oeste e norte, sendo que algumas fissuras foram provocadas pela atuação higroscópica, e 21% eram anomalias provenientes da umidade, com maior incidência nas fachadas sul.

Neste escopo, percebe-se que a ação da umidade sobre revestimentos exteriores é responsável por grande parte das manifestações patológicas. Assim sendo, torna-se necessário o conhecimento de revestimentos que visem à recuperação de fachadas degradadas pela presença da água em excesso. Diante disso, esta pesquisa tem o intuito de contribuir com a ciência da patologia, a partir de uma análise de revestimentos que visam à estanqueidade de fachadas, com foco na sua recuperação ao atingir a degradação de seus materiais constituintes.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o desempenho à estanqueidade à água de diferentes revestimentos com propriedade hidrofugante utilizados para a recuperação de fachadas de edifícios degradadas pela ação da umidade.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos secundários que contemplam este trabalho são:

- a) determinar a estanqueidade à água de revestimentos de argamassa e de hidrorrepelentes a partir de ensaios laboratoriais e *in loco*;

- b) determinar a resistência de aderência das argamassas nos sistemas de revestimento;
- c) comparar o desempenho à estanqueidade à água de argamassas com e sem hidrorrepelentes;
- d) analisar a relação de custo/benefício do emprego dos revestimentos estudados com intuito de recuperação de fachadas degradadas;
- e) indicar, entre os revestimentos analisados, quais que se destacam na relação de custo/benefício como alternativa de recuperação de fachadas degradadas pela ação da umidade.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para compreensão do presente estudo, é necessário abordar, a partir de referenciais teóricos, os principais tópicos que norteiam o desenvolvimento experimental. Portanto, neste capítulo, serão explanados os assuntos pertinentes ao trabalho, desde o entendimento do transporte de água nos materiais, das formas de manifestação da umidade em edificações e da influência dos agentes climáticos. E a partir deste contexto, serão abordadas as manifestações patológicas existentes em fachadas que se originam pela ação da umidade e as formas de tratamento, bem como a exigência do desempenho à estanqueidade à água de fachadas. Serão contemplados também as funções, constituição, propriedades e os principais tipos de revestimento de argamassa.

2.1 TRANSPORTE DE ÁGUA NOS MATERIAIS

O movimento da água através de um material de construção pode ser um fator limitante para a sua durabilidade e para o processo de construção. As mudanças climáticas no ambiente permitem que as construções experimentem períodos de molhagem e secagem, tornando essenciais as medições do transporte de vapor e água líquida para o entendimento de sua degradação e restauração (BALL; ALLEN, 2010). Assim sendo, é crucial a análise da migração de umidade em materiais e elementos de construção, pois além de afetar a durabilidade e degradação, interferem na impermeabilização. Ainda, pode-se afirmar que os mecanismos que envolvem o transporte de água nos elementos e componentes de construção são muito complexos (DELGADO *et al.*, 2016).

Esta complexidade é corroborada pelo fato de o material estar exposto a condições que variam com o tempo, como temperatura, umidade relativa, precipitação, pressão do vento e radiação solar. E ainda, o transporte de água é influenciado inteiramente pela estrutura porosa, que em uma escala microscópica pode ser considerada material poroso heterogêneo (SALOMÃO, 2016). É extremamente importante o entendimento de como a água se movimenta na estrutura de um material poroso, pois caso ela se mova em sua fase líquida, será capaz de transportar substâncias deletérias, e movendo-se em sua fase de vapor, poderá ficar retida nos poros pela higroscopicidade (CHAROLA, 2000).

É possível o transporte de água em um material a partir da existência de uma rede de poros, conhecidos como poros capilares, que permite a ocorrência de transferência de umidade ao longo de toda sua vida. Para materiais constituídos por cimento Portland, a água

está presente desde a sua produção, passando pelo processo de hidratação, no qual parte da água permite a formação do gel e parte em excesso evapora criando a rede de poros capilares. Assim, é possível o transporte da água nestes poros sob a forma líquida ou de vapor, ocorrendo após o processo de secagem do material, quando este está em um ambiente com umidade relativa mais baixa do que sua própria umidade interna (BAROGHEL *et al.*, 1999).

Deste modo, a umidade passante por um material ocorre em diversas fases, desde a sua fixação, transporte e secagem, possibilitada pela rede dos poros capilares formados e existentes no material. Estes tipos de materiais, conhecidos como materiais porosos, serão tratados a seguir e, na sequência, apresentar-se-ão as formas de mecanismos da umidade que podem ocorrer em sua estrutura.

2.1.1 Materiais porosos

Nas edificações, podem-se identificar diversos materiais porosos, como argamassas, tijolos, telhas, concreto, arenito, madeira, entre outros (MENDES, 1997). Para Dullien (1992), define-se como material poroso aquele que permite a permeabilidade de variados fluidos, ou aquele que possui espaços intersticiais não preenchidos por matéria sólida distribuídos na matriz e ocupados por fluido caracterizado pela água, vapor de água ou ar. Conforme Sentone (2011), o fluxo de massa em um material poroso ocorre pela combinação e interação entre fluido percolante e o meio poroso. Como o próprio nome sugere, um material poroso é constituído por poros, que são pequenos vazios ocupados por ar, água ou vapor de água (PÁSCOA, 2012). Estes vazios são distribuídos através de uma matéria densa na forma de partículas soltas, ou por partículas consolidadas que podem possuir tamanhos variáveis (SENTONE, 2011).

A porosidade de um material pode ser definida, conforme Oliveira (2013), como a relação entre o volume total de vazios, que são os poros e os canais, e o seu volume aparente, expresso em porcentagem. De acordo com o mesmo autor, os poros formam a rede capilar dentro dos materiais a partir de tubos de diâmetro variável ligados entre si, determinando a capacidade do material absorver certa quantidade de água.

Um material poroso é caracterizado em função do tamanho dos seus poros e da sua rede capilar. Quanto mais finos são os poros, mais a água atinge a altura máxima por ascensão capilar, e quanto maior for o diâmetro dos poros, maior será a velocidade pela qual a água se

eleva no material, mas atingirá menores alturas se comparado com os poros mais finos (CSTC, 2002 *apud* OLIVEIRA, 2013).

Considerando o tamanho de um poro e a sua influência de transporte de umidade em um material, pode-se caracterizá-lo em três tipos: microporos, mesoporos e macroporos. Os microporos são representados pelos poros de menor tamanho e que não influenciam no transporte de umidade, pois a água presente não consegue se movimentar em função da existência de grandes forças capilares. Já os mesoporos, conhecidos também por poros capilares, possuem poros de tamanhos intermediários, e é a partir destes poros que ocorre o transporte de água líquida. E por fim, os macroporos, são os que possuem maior dimensão e que influenciam a migração do vapor da água (BRITO, 2009). Hilbert *et al.* (1992) *apud* Gonçalves (2007) abordaram as dimensões e as influências desta classificação de poros, conforme se apresenta no Quadro 1.

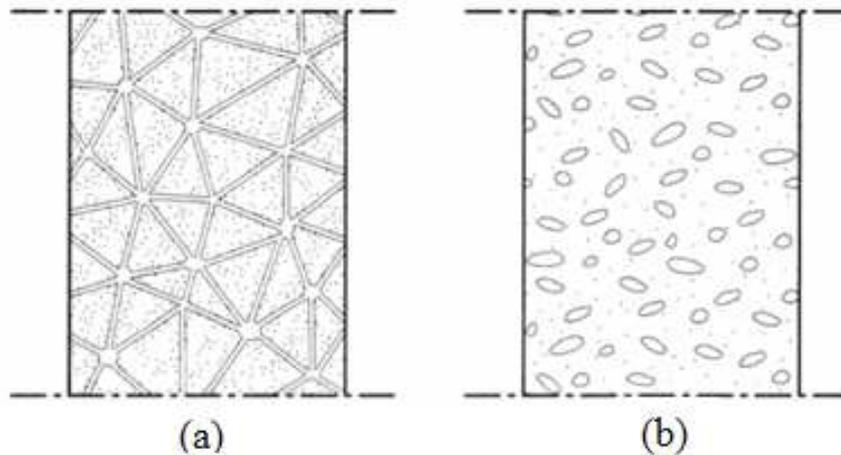
Quadro 1– Classificação, dimensão e influência dos poros

<i>Classificação</i>	<i>Dimensão</i>	<i>Influência no transporte de umidade</i>
Microporos	$r < 0,1 \mu\text{m}$	Não influenciam no transporte de umidade, pois a força capilar é tão elevada que não permite a movimentação da água.
Mesoporos	$0,1 \mu\text{m} < r < 30 \mu\text{m}$	A movimentação da água ocorre pela influência das forças capilares (capilaridade), e também permite o transporte de vapor.
Macroporos	$r > 30 \mu\text{m}$	As forças capilares são baixas, portanto o transporte de água é pouco significativo, mas o transporte de vapor é bem elevado.

Fonte: Adaptado de Hilbert *et al.* (1992) *apud* Gonçalves (2007)

Nos materiais, há dois tipos de porosidade como ilustrado na Figura 1. A primeira é denominada porosidade aberta, em que os poros estão interligados, formando uma rede contínua de vazios; e a segunda é denominada porosidade fechada, pois os poros se apresentam dispersos e isolados sem ligação entre si (PÁSCOA, 2012). Ainda segundo Silva (2007), a porosidade aberta favorece a circulação da água, tornando o material permeável, enquanto a porosidade fechada não permite a circulação da água e torna o material impermeável.

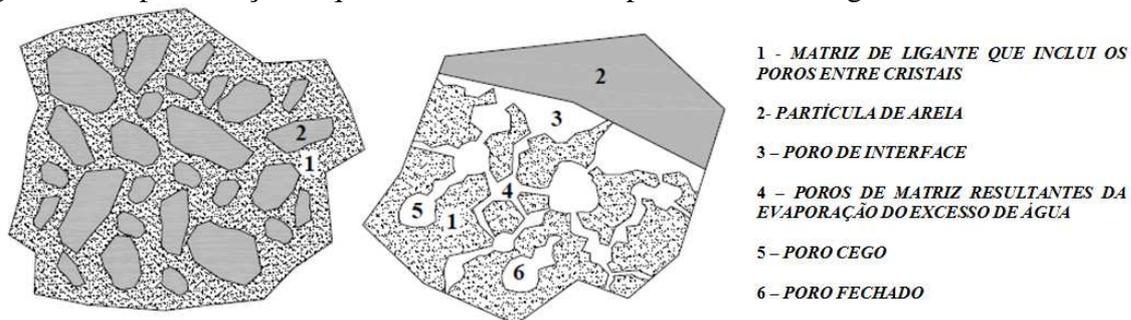
Figura 1 – Porosidade aberta (a) e porosidade fechada (b)



Fonte: Freitas, Torres, Guimarães (2008)

Na porosidade aberta, há um tipo específico de poro denominado de poro cego que contata com a rede porosa aberta apenas por uma das suas extremidades e pouco contribui para o fluxo no material, apesar de ser frequentemente penetrado (RATO, 2006). A Figura 2 ilustra, a partir de uma representação esquemática, a estrutura porosa de uma argamassa, demonstrando os tipos de poros, representados por poros de interface (entre a matriz de pasta de ligantes e as partículas de areia), poros de matriz (resultantes da evaporação do excesso de água), poro cego (pouco contribui no escoamento da água) e poro fechado (não há circulação da água).

Figura 2 – Representação esquemática da estrutura porosa de uma argamassa

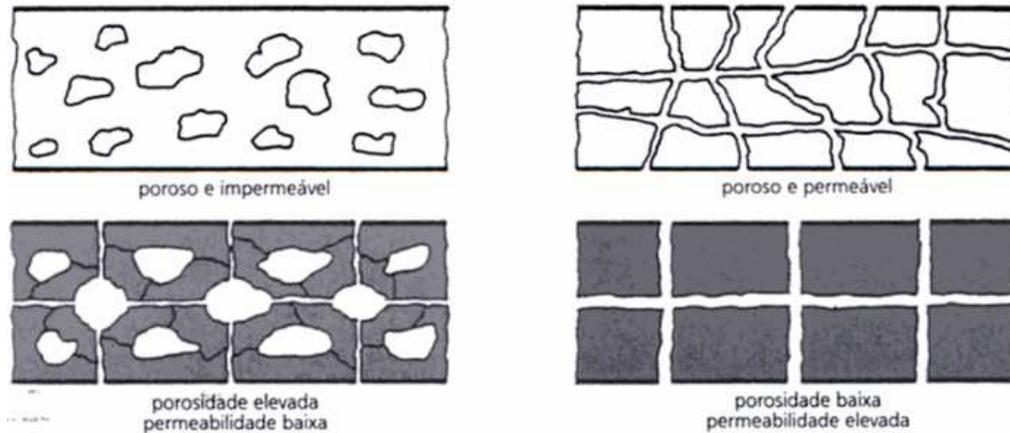


Fonte: Rato (2006)

Quando os poros estiverem interligados entre si e o material for de grande porosidade, ocorrerá o deslocamento de fluidos, acarretando um material poroso e permeável. Mas, ao contrário, se existir um grande número de poros e estes não estiverem conectados por uma

rede capilar, o material será muito poroso, porém, pouco permeável, como ilustra a Figura 3 (COUTINHO, 2005).

Figura 3 – Diferenças entre permeabilidade e porosidade



Fonte: Concrete Society (1987, *apud* COUTINHO, 2005)

A absorção e a liberação de água e seu transporte em materiais de construção porosos pertencem a uma raiz com uma série de problemas de engenharia. Nestes materiais, o movimento da água através do material permeável se dá com um teor de água não uniforme e normalmente inferior à saturação. Podemos chamá-lo de sólido poroso parcialmente saturado de água e que, quando exposto ao ar, constitui-se um sistema de três fases: líquida, gasosa e sólida. A água é absorvida espontaneamente por um sólido poroso, e quando insaturado, redistribui-se espontaneamente, encontrando uma distribuição de equilíbrio entre água e ar. E, caso os vazios de um material poroso estejam totalmente preenchidos com água, temos um material sólido poroso saturado (HALL, 1977).

2.1.2 Mecanismos de fixação da umidade nos materiais

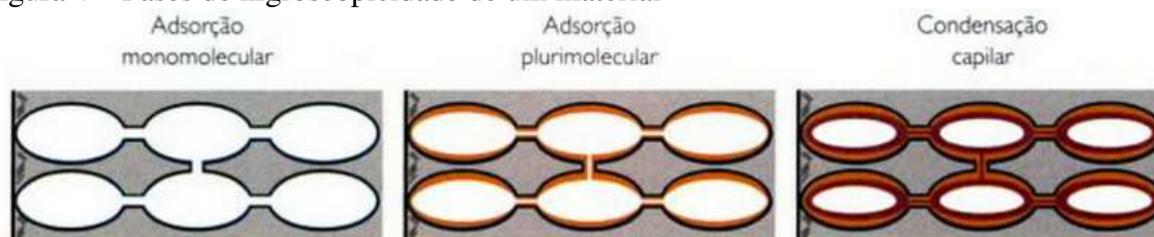
Conforme Mendes (1997), as moléculas de água aderem em uma superfície na sua fase líquida, a partir de natureza pluvial e/ou da condensação de vapor da água do ar circundante. Ainda de acordo com o mesmo autor, a água pode migrar diretamente na estrutura na fase de vapor e se fixar na superfície dos poros dos materiais por meio de processos de adsorção física, e em poros mais finos pode se fixar através de condensação capilar.

2.1.2.1 Adsorção física

A forma pela qual um material higroscópico varia sua quantidade de umidade em função da umidade relativa é denominada de adsorção. Este fenômeno de adsorção pode ser explicado pelo comportamento de um material poroso e seco inserido em um ambiente com controle da temperatura e umidade relativa do ar, e que, em seguida, se variando a umidade relativa do ar e mantendo constante a temperatura, observa-se que o material aumenta a sua massa até certo valor, em que a pressão de vapor no ambiente se aproxima da pressão saturada do vapor. Este aumento de massa corresponde à fixação de certa quantidade de água pelo material poroso por meio do fenômeno de adsorção, com origem física imposta pelas forças intermoleculares de Van Der Waals, as quais agem sobre as moléculas de vapor em torno da interface sólido/fluido dentro dos poros (NETO, 2010).

Na Engenharia Civil, os materiais mais utilizados são considerados higroscópicos, ou seja, quando são inseridos em um ambiente com variação de umidade relativa, o seu teor de umidade também varia, ocorrendo, deste modo, o que se chama de fenômeno de adsorção. Quando as moléculas de água começam a se fixar na superfície interna dos poros, ocorre a adsorção monomolecular. Em seguida, quando as moléculas se depositam em várias camadas, ocorre a adsorção plurimolecular, mas quando o diâmetro dos poros é muito pequeno, há a união destas camadas plurimoleculares, passando para a fase de condensação capilar (FREITAS *et al.*, 2008). Estas fases de um material higroscópico são ilustradas na Figura 4.

Figura 4 – Fases de higroscopicidade de um material



Fonte: Freitas *et al.* (2008)

2.1.2.2 Condensação capilar

O fenômeno de condensação capilar pode ser explicado pela teoria da difusão de vapor proposta por Glaser, na qual, em qualquer ponto no interior de um material de construção, a pressão de vapor deve ser menor ou igual à pressão de saturação. Assim, quando a pressão se

igual a à pressão de saturação, ocorre a condensação e o transporte de água que se fazia na fase de vapor gera o surgimento de uma fase líquida (FREITAS *et al.*, 2008).

A água em condições de condensação capilar faz com que a fase líquida preencha determinados poros (MENDES, 1997). Ainda, segundo Hattge (2004), a condensação surge quando a temperatura superficial das paredes for menor do que a temperatura do ar no ambiente, aumentando, assim, a umidade relativa na camada de ar em contato com a superfície. A Figura 4 ilustra a condensação capilar em um material em sua terceira fase de higroscopicidade.

2.1.3 Mecanismos de transporte da umidade nos materiais

A umidade está presente nos materiais porosos na forma de vapor, líquida ou sólida (ZANONI, 2015). O transporte de umidade nos materiais na edificação caracterizado pela permeabilidade, de acordo com Nappi (2002), é o fenômeno em que a água se move no interior dos poros dos materiais, sendo influenciado pelo tamanho e tipo de poro e pelas fissuras existentes.

A permeabilidade é capaz de fornecer uma confiável imagem das condições microestruturais de concretos e argamassas, estando, portanto, diretamente relacionada às características da estrutura porosa. Ocorre pela existência de um gradiente de pressão entre dois meios que é capaz de impulsionar o fluido de uma região de pressão maior até uma região de menor pressão, podendo o escoamento se dar de forma laminar ou turbulento em função das condições de pressão e das características do meio (SENTONE, 2011).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a permeabilidade da pasta de cimento decresce com a evolução da hidratação do cimento. Na Tabela 1, visualiza-se um exemplo deste decréscimo desde o estado fresco até uma idade final, na qual se observa que, após os 24 dias, a modificação da porosidade é pequena.

Tabela 1 – Redução da permeabilidade da pasta de cimento com a evolução da hidratação

Idade dias	Coefficiente de permeabilidade (cm/s x 10 ⁻¹¹)
Fresca	20.000.000
5	4.000
6	1.000
8	400
13	50
24	10
Final	6

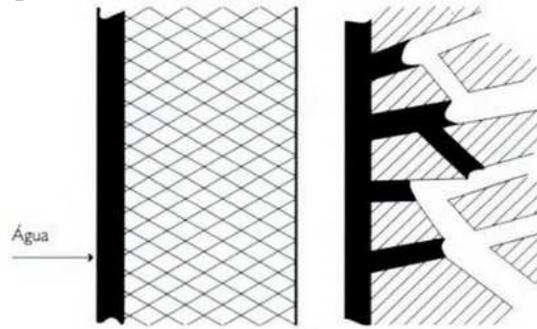
Fonte – T. C. Powers, L. E. Copeland, J. C. Hayes, e H. M. Mann, J. ACI, Proc., V.5, pp. 285-298, 1954 (*apud* MEHTA; MONTEIRO, 1994).

A água é transferida no interior do meio poroso através da permeabilidade por meio de diferentes mecanismos de transporte, sendo, na fase líquida, transferida pelo fenômeno de capilaridade e, na fase de vapor, pelo fenômeno de difusão (MENDES, 2014; PÁSCOA, 2012; ZANONI, 2015). Ainda, segundo Torres (1998) e Polisseni (1986), o transporte de água na fase líquida pode ocorrer também através das forças externas e, na fase de vapor, além da difusão, pode ocorrer pelos movimentos convectivos.

2.1.3.1 Mecanismo de transporte da umidade na fase líquida: capilaridade e forças externas

O transporte de água líquida ocorre em materiais porosos principalmente por capilaridade. Este fenômeno ocorre quando as forças de coesão de atração entre o líquido e o material sólido são maiores do que as forças de coesão do líquido. Deste modo, constata-se que a superfície da água no interior do poro capilar forma um menisco côncavo e molha o sólido (OLIVEIRA, 2013). Quando um material poroso é colocado em contato com a água na fase líquida, ocorre a capilaridade, que pode ser ilustrada na Figura 5. Este fenômeno gera interfaces curvas entre o fluido (água) e o ar contido dentro dos poros, sendo que a curva depende da distribuição do raio dos poros e da sua variação (FREITAS *et al.*, 2008).

Figura 5 – Fenômeno de capilaridade



Fonte: Freitas *et al.* (2008)

A ação capilar dos líquidos, segundo Neto (2010), deve-se à tendência que a água possui de subir pelas paredes de tubos capilares essencialmente muito finos, sendo consequência da tensão superficial. E para que ocorra a invasão do líquido por capilaridade, é preciso que a interação entre as moléculas do líquido seja mais relevante do que a interação com a superfície sólida, permitindo a formação de pontes de líquido entre superfícies opostas.

Considerando um exemplo simples, no qual se utiliza um tubo de vidro simulando um tubo capilar que possui suas extremidades abertas e colocando a extremidade inferior do tubo de vidro na vertical imerso em água, observa-se que a água se eleva dentro do tubo, ficando em um nível mais alto do que a água externa. A ação ocorrida entre tubo capilar/água é chamada ação capilar (MITROPOULOS, 2009).

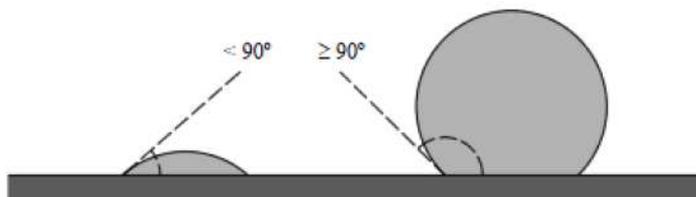
Para compreensão do fenômeno de capilaridade, deve-se abordar as considerações de tensão superficial, a formação do menisco de água, forças de sucção ou expulsão capilar atuantes tanto em um poro como em uma fissura na parede (HATTGE, 2004).

A tensão superficial é um fenômeno físico, conforme expõe Bauer (1987), em que a superfície da água age como se fosse uma membrana tracionada quando está sob efeito de desequilíbrio entre as interações moleculares. Atua sobre pequena profundidade em uma região em que as forças da superfície estão desequilibradas.

Quando as moléculas da camada superficial são colocadas próximas a um sólido, submetem-se à ação de duas forças atrativas, a coesão que se orienta para dentro da massa líquida e a adesão que é exercida pelas moléculas do sólido. Desta forma, há a formação do menisco, colocando-se um líquido em contato com um sólido, sendo formado um ângulo de contato (HATTGE, 2004). Conforme complementa Rato (2006), forma-se uma superfície côncava quando a força de adesão é maior que a força de coesão, assim, o líquido molha o sólido formando um ângulo de contato inferior a 90° , e o material é considerado hidrófilo. E ao contrário, quando o líquido não molha o sólido, a superfície que se forma é convexa com

ângulo de contato superior a 90° e o material é hidrófugo. A Figura 6 ilustra por meio de uma gota a formação do ângulo de contato.

Figura 6 – Ângulo de contato de uma gota em materiais hidrófilos e hidrófugos sobre uma superfície plana



Fonte: Rato (2006)

Quando a água entra em contato com o ar, estabelece-se um gradiente de pressão chamado de pressão capilar, a qual é função da tensão superficial, do raio de curvatura e do ângulo de contato. Deste modo, a água é succionada (ascensão capilar), devido à pressão capilar capaz de segurar a massa de água em contraposição à força de gravidade. Quando se estabelecer um equilíbrio entre a pressão capilar e a pressão hidrostática, a ascensão da água se finaliza, sendo que a altura de equilíbrio do nível de água no tubo capilar é função do raio do poro (SALOMÃO, 2016).

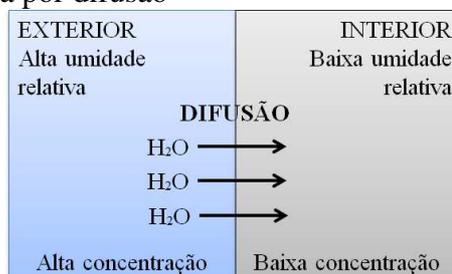
A água se transporta em um material em sua fase líquida também por meio de forças externas identificadas pela inércia, gravidade e pressão do vento. Bauer (1987) explicou este fenômeno, dizendo que, quando a força de gravidade age sobre a água na superfície de uma fachada ou em aberturas de maior dimensão, propicia a penetração da água se o fluxo da água estiver em posição descendente. Quando as gotas de chuva sofrem influência do vento, elas se aproximam da parede com velocidade considerável, e devido a sua energia cinética, haverá a possibilidade de penetração na superfície através de poros e fissuras, sendo favorecida pelo fato da pressão externa devido ao vento ser maior que a pressão interna.

2.1.3.2 Mecanismo de transporte da umidade na fase de vapor: difusão e convecção

A água na fase de vapor se transfere em um material por difusão, que ocorre quando há diferença de concentração entre os dois elementos da mistura gasosa, o ar seco e o vapor de água (HATTGE, 2004). As moléculas de água tendem a migrar de forma espontânea de uma região de maior concentração para uma de menor concentração, até o sistema atingir um

equilíbrio (SENTONE, 2011). A Figura 7 demonstra a forma de transporte da água pelo fenômeno de difusão.

Figura 7 – Transporte da água por difusão



Fonte: Adaptado de Helene (1933) *apud* HOFFMANN, 2001)

Conforme Páscoa (2012), o processo de difusão é regido pela lei de Fick. Quando um material está exposto em ambientes com umidades relativas diferentes, ocorre o transporte de vapor de água no interior do material, que procura uniformizar a concentração de vapor entre os ambientes. O fluxo de umidade ocorre no sentido da maior para a menor umidade relativa, portanto, da maior para a menor pressão.

Além da difusão, a umidade pode se transferir em um material na fase de vapor pelo fenômeno de convecção. De acordo com Costa (1982 *apud* HATTGE, 2004), o transporte acontece quando as moléculas de água migram de um local para outro de um fluido por efeito de movimento relativo de suas partículas, que pode ser provocado pela diferença de pressão causada pela diferença de temperatura e densidade da massa fluida considerada.

2.1.4 Mecanismo de secagem da umidade nos materiais

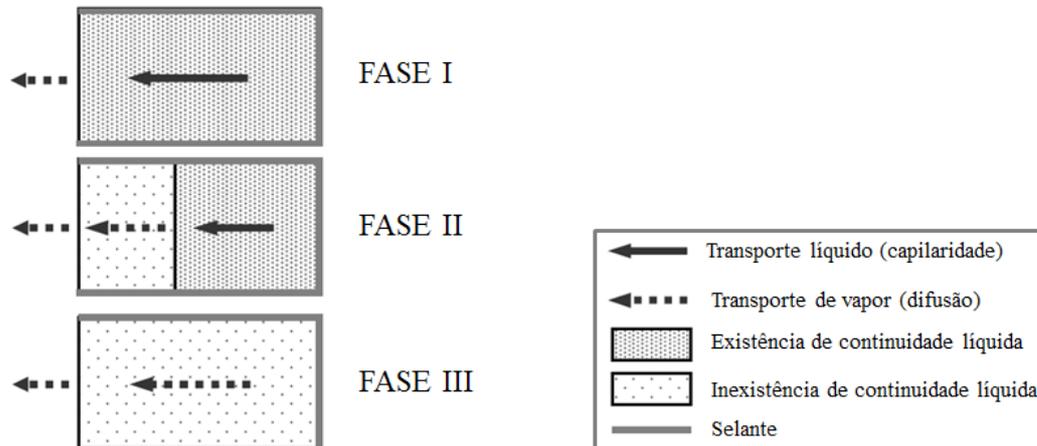
A secagem consiste no processo em que a água deixa o material poroso, envolvendo o transporte de líquido até à frente úmida, à evaporação do líquido, à migração do vapor através do material, e por último, à propagação do vapor no ambiente (BRITO, 2009). A evaporação é o mecanismo do processo de secagem nos materiais, que, de acordo com Páscoa (2012), é a passagem da água da fase líquida para a fase de vapor presente no corpo sólido, condicionada pelos aspectos externos envolvidos pela temperatura, pressão parcial do vapor de água e a agitação do ar.

Entende-se por secagem, a transferência de um líquido presente nos poros de um material sólido para o ar circundante. Este processo é composto pelo fluxo insaturado líquido no interior do sólido poroso, pelo fluxo de vapor dentro do sólido poroso, da mudança da fase

líquido/vapor, e da transferência de vapor convectiva/difusiva da superfície do sólido para o meio externo, sendo que a secagem depende totalmente de fatores externos e da propriedade do material (HALL *et al.*, 1984).

Este processo em que a água abandona os materiais pode ser decomposto basicamente em três fases, conforme apresenta Gonçalves (2007):

Figura 8 – Fases do fenômeno de secagem



Fonte: Adaptado de Gonçalves (2007)

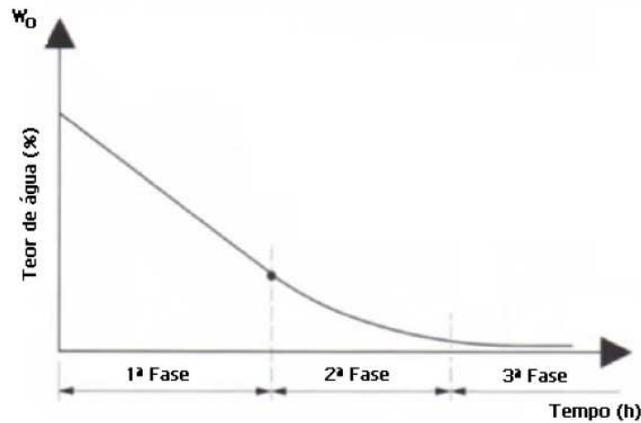
Na primeira fase, o material encontra-se saturado e seus poros estão preenchidos com água. A secagem começa quando a água líquida é transportada para a superfície exterior, especialmente por capilaridade. Por meio da evaporação, o teor de umidade diminui ao longo do tempo e a distribuição uniforme da água se mantém ao longo da espessura do material. A quantidade de secagem nesta fase é influenciada por fatores externos como a umidade relativa do ar, temperatura e velocidade do ar (GONÇALVES, 2007).

A segunda fase se inicia quando o fluxo capilar não saturado não consegue mais fornecer água suficiente para compensar a evaporação, recuando para o interior do material. Nesta fase, conforme é apresentado por Gonçalves (2007), o teor de umidade na zona molhada diminui, fazendo com que a secagem continue retrocedendo ao longo do tempo, aumentando o percurso de difusão do vapor no material. Esta fase se encerra quando a continuidade da água nos capilares deixa de existir atrás da frente de evaporação.

Por fim, na última e terceira fase, a difusão de vapor controla o transporte de umidade no material, tornando a quantidade de água evaporada muito pequena e tornando tecnicamente o material seco (ainda pode haver líquido nos poros menores). Nesta fase, o material atinge o teor de água de equilíbrio higroscópico (GONÇALVES, 2007). Estas fases podem ser

representadas ao longo do tempo, conforme ilustra a Figura 9, demonstrando a evaporação de água em um material poroso previamente saturado.

Figura 9 – Progresso característico do teor de água de um material poroso durante a secagem



Fonte: CSTC (2002, *apud* Gonçalves, 2013)

Primeiramente, a secagem ocorre a uma taxa constante e o teor de umidade diminui linearmente, porém se mantém uniforme ao longo da espessura do material. Posteriormente, quando o líquido não consegue mais atingir a superfície do material e o teor de água alcança o ponto crítico, a evaporação na superfície diminui e a frente de secagem recua para o interior do material. Assim, a taxa de secagem vai diminuindo até atingir o equilíbrio higroscópico, entre meio ambiente e o material, porém a secagem total de um material só é possível através de aplicação de métodos de secagem artificial (OLIVEIRA, 2013). Ou seja, a secagem ocorre mais rapidamente no início do processo, quando o sólido está completamente saturado e diminui continuamente até atingir um teor de umidade muito pequeno (GARBALINSKA *et al.*, 2010).

2.2 FORMAS DA MANIFESTAÇÃO DA UMIDADE EM EDIFICAÇÕES

A umidade que atinge uma edificação pode ter várias origens, podendo penetrar em uma parede por ascensão capilar e transferir a água existente no solo para a edificação. Ainda, pode ser proveniente da água da chuva que atinge o exterior da edificação, das condensações do vapor de água existente na parte interior dos cômodos, e da própria água utilizada na construção. São diversas as formas de manifestações de umidade que podem afetar os elementos construtivos e conhecê-las facilita a análise e o diagnóstico (GUTERRES, 2009).

As causas da umidade, conforme Henriques (2007), correspondem a conjuntos bem definidos de sintomas que podem ser detectados por simples inspeção visual, por meio de ensaios, análises *in loco*, ou ainda a partir de cálculos baseados em várias características dos materiais e do local. Porém, muitos destes sintomas não são específicos somente de uma determinada causa, mas sim de várias. Segundo o mesmo autor, as formas de manifestações de umidade podem ocorrer em seis diferentes grupos:

- a) umidade de construção;
- b) umidade do terreno;
- c) umidade de precipitação
- d) umidade de condensação;
- e) umidade devida a fenômenos de higroscopicidade;
- f) umidade devido a causas fortuitas.

A umidade é uma das principais causas de manifestações patológicas em edificações, portanto, é essencial conhecer suas formas de manifestações, identificar sua origem e determinar as soluções que mais se adequam para tal.

2.2.1 Umidade de construção

A maioria dos materiais da construção civil, como é o caso de argamassas e concreto, necessitam de uma quantidade de água mínima para promover sua cura. Porém, se esta quantidade for modificada, poderá ocorrer a alteração das propriedades físicas do material e, por consequência, intervenções em seu desempenho (SILVA, 2007). Basicamente, a umidade da construção é proveniente do uso da água durante os processos de fabricação e construção, é um tipo de umidade própria de materiais porosos, conforme explica Zanoni (2015).

Este tipo de umidade pode gerar anomalias generalizadas ou localizadas, em decorrência da evaporação da água nos materiais ou simplesmente pelo fato de existência de um teor de água elevado e acima do normal no material. No caso da evaporação da água, poderão ocorrer expansões ou deslocamentos de certos materiais, e por fazer diminuir a temperatura superficial dos materiais, pode-se dar origem a condensações. Já quando houver água em excesso nos materiais, podem-se ocasionar manchas de umidade ou condensações, pois a condutibilidade térmica dos materiais varia em função do referente teor de água (HENRIQUES, 2007).

2.2.2 Umidade do terreno

A forma de implantação de uma edificação no terreno feita com técnicas construtivas impróprias ou por seu uso ser inadequado, está ligada diretamente à capacidade da água existente no solo em variável quantidade entrar em contato direto com a alvenaria. Assim, pela ação capilar, poderá subir acima do nível do solo, através da parede e gerar anomalias de pequena ou grande magnitude (GUTERRES, 2009).

Quando não há nenhum tipo de barreira capaz de impedir a ascensão capilar pela alvenaria, a migração da água poderá ocorrer, de acordo com Henriques (2007), horizontalmente ou verticalmente. Esta migração ocorrerá quando estiver envolvida pela existência de zonas das paredes em contato com a água do solo, existência de materiais com grande capilaridade nas alvenarias e a inexistência ou deficiência da posição das barreiras estanques presentes na alvenaria.

Para que ocorra umidade nas paredes de edificações provenientes do terreno, é preciso que estas estejam em contato com a água do solo, podendo se manifestar, de acordo com Guterres (2009), em várias situações: nas fundações de paredes executadas abaixo do nível do lençol freático, nas fundações de paredes executadas acima do nível do lençol freático que se encontram em zonas de solos de grande capilaridade, e em terrenos com pequena permeabilidade e/ou com caídas direcionadas à edificação sem sistema de drenagem.

2.2.3 Umidade de precipitação

A chuva e o vento associados se constituem em uma ação grave para as paredes de edifícios. A precipitação, acompanhada, na maioria das vezes, pelo vento, origina a trajetória da chuva em uma componente horizontal tanto maior for a intensidade do vento. Quando pelo efeito do vento a trajetória da chuva se afasta da vertical, as paredes das edificações se sujeitam a uma ação de molhagem, constituindo um enorme fator de risco de umedecimento das faces interiores e da redução da resistência térmica de seus materiais constituintes (HENRIQUES, 2007).

Conforme apresenta Nappi (2002), a ação da água da chuva pode assumir distintos componentes sobre uma alvenaria. A penetração direta da água pode ser provocada pela energia cinética das gotas, quando houver incidência sobre as fissuras ou em juntas mal vedadas. Esta ação continuada da chuva pode, também, desenvolver uma cortina de água que

poderá escorrer e penetrar na parede por gravidade, em decorrência da sobrepressão ocasionada pelo vento ou pela ação da capilaridade dos materiais.

2.2.4 Umidade de condensação

A condensação é um fenômeno ocasionado pela produção de vapor de água proveniente da transpiração das pessoas, produzido pelo cozimento dos alimentos, pelos banhos, defeitos de calefações, falta de ventilação, e está ligado diretamente com a térmica dos materiais de construção (GEWHER, 2004). Zanoni (2015) explica que a condensação se origina do vapor da água quando se atinge a temperatura do ponto de orvalho. Quando a temperatura externa à edificação está elevada e a temperatura interna está mais baixa, ocorre a condensação. Ainda, Guterres (2009) complementa que, no Brasil, as condensações não causam grandes desconfortos ao bem-estar pessoal, entretanto, podem ocasionar muitos prejuízos no estrago de materiais da construção e nas instalações.

2.2.5 Umidade devida a fenômenos de higroscopicidade

Certos materiais possuem característica higroscópica, que consiste na capacidade de absorver a umidade contida no ar. Boa parte dos materiais de construção apresenta sais solúveis incorporados em seu interior, que primeiramente não representam um fator de agressão aos componentes das paredes. Mas, se sofrerem processos de umedecimento, serão dissolvidos e migrarão ao lado da água até as superfícies, e quando ocorrer a secagem da água, irão se manifestar em forma de eflorescências e/ou criptoflorescências (GUTERRES, 2009).

As anomalias oriundas do fenômeno de higroscopicidade são caracterizadas pelo surgimento de manchas de umidade em locais com grande concentração de sais, podendo estar relacionadas a degradações dos revestimentos das alvenarias. Estas manifestações podem ocorrer no período de fortes umidades relativas do ar, ou de frequentes variações do estado higrométrico, durante todo o ano (HENRIQUES, 2007).

2.2.6 Umidade devido a causas fortuitas

É muito complexo resumir todas as possíveis causas da umidade proveniente de causas fortuitas, pois há grande número de formas de manifestações. Procede especialmente de falhas de equipamentos ou defeitos de construção oriundos de acidentes ou falta de manutenção das instalações hidrossanitárias e/ou pluviais, podendo ser originárias também de coberturas mal executadas e/ou acabadas (NAPPI, 2002).

2.3 AGENTES CLIMÁTICOS

Os sistemas que compõem uma edificação possuem durabilidade diretamente ligada não só às propriedades dos seus elementos e componentes, mas também à agressividade do ambiente que está implantado. Um destes sistemas, a fachada, está totalmente exposta às condições externas climatológicas da região em que se encontra. São afetadas inteiramente pelos agentes climáticos, como a precipitação pluviométrica, de neve e de granizo, a radiação solar, umidade relativa e temperatura; que muito auxiliam no processo de degradação. Entre estes elementos, a precipitação pluviométrica é uma das principais responsáveis pela origem de umidade nas edificações, o que a torna motivo de preocupação, pois está regida pelas leis da natureza e, portanto, não possui controle (MELO JÚNIOR; CARASEK, 2011).

2.3.1 Vento

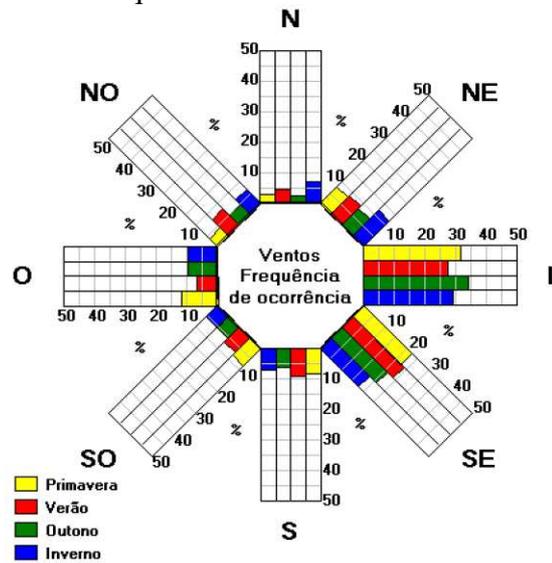
Os ventos são movimentos do ar ocasionados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera que provoca diferenças de pressão, e são influenciados pelo movimento de rotação da Terra, sofrendo variação de velocidade e direção (ZANONI, 2015). Conforme complementa Vieira (2015), o vento é produzido por meio do choque entre uma frente fria e o ar quente, fenômeno este muito observado antes de se iniciar uma chuva. Para Lima e Morelli (2005), o vento é influenciado por certos fatores, como o formato da edificação, sua altura e suas condições de entorno.

Por sua velocidade e direção, o vento serve como meio de transporte às partículas sujas, agindo com sua própria força e com a energia cinética das partículas que são transportadas, na alteração da distribuição da sujeira que se deposita sobre as superfícies das fachadas (PETRUCCI, 2000). Principalmente nas grandes cidades, há a formação de corredores de vento e a cada construção de um novo edifício, de acordo como expõe Lima e

Morelli (2005), aumenta a incidência do vento em certas fachadas. Deste modo, modifica-se também a forma de incidência das chuvas e, conseqüentemente, a maneira de deposição das partículas contaminadas.

Flores (2014) gerou uma base climática para a cidade de Santa Maria/RS, e com isso, analisou a frequência de ocorrência dos ventos para cada estação do ano, como é ilustrado na Figura 10, para o ano meteorológico típico. A maior frequência é para a orientação leste em todas as estações, seguido da orientação sudeste.

Figura 10 – Rosa dos ventos da frequência de ocorrência dos ventos para Santa Maria/RS



Fonte: Flores (2014)

2.3.2 Precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica ou chuva é um conjunto de partículas líquidas ou sólidas que provém das nuvens. Pode vir nas várias formas da água: chuva, chuveiro, neve, granizo, geada e orvalho (INMET, 1999). Conforme Lima e Morelli (2005), o Brasil possui uma alta incidência de chuvas e estas ocorrem em muitos dias por ano, portanto o clima brasileiro é um tanto agressivo às edificações, pois disponibiliza grande quantidade de água para que haja reações de degradação.

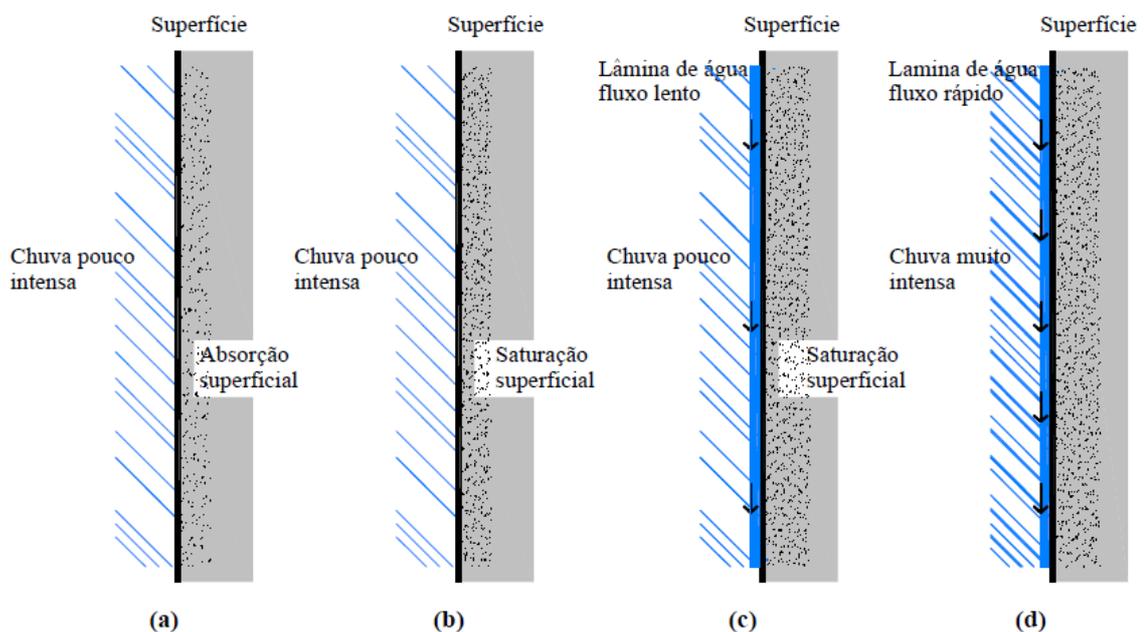
A precipitação se procede da condensação da umidade existente na atmosfera e ocorre, de acordo, com Melo Júnior (2010) devido a: condições de saturação (normalmente por resfriamento), mecanismos que alteram a forma da água de vapor para líquido ou sólido,

mecanismos que causam o crescimento das gotículas de água ou dos cristais de gelo e mecanismos que produzem o acúmulo de umidade com intensidade suficiente.

Segundo Petrucci (2000), a intensidade determina a capacidade da chuva de lavar as fachadas das construções. Nos centros urbanos, quando a chuva é de baixa intensidade, agindo com pequena força sobre as fachadas das edificações, contribuirá mais para aumentar o surgimento de sujeira do que realizar algum tipo de limpeza. Lersch (2003) complementa que a água da chuva é o principal meio para a ação dos mecanismos de degradação das fachadas das edificações, causando a grande maioria dos prejuízos.

A penetração de água proveniente da chuva pode ocorrer em quatro fases, conforme ilustra a Figura 11. Na primeira fase (a), a água da chuva com pouca intensidade ou na fase inicial é absorvida superficialmente pelos poros dos materiais por meio do fenômeno de capilaridade; já na segunda fase (b), a água da chuva absorvida após certo tempo começa a saturar a superfície dos poros. Quando a chuva se encontra em um estágio intenso, terceira fase (c), por meio da saturação da superfície, é formada uma lâmina de água que escorre lentamente pela superfície. E por último, na quarta fase (d), a água da chuva que é absorvida pela superfície dos poros escoar rapidamente, porém é influenciada pela rugosidade superficial, pois, quanto mais rugosa for, mais lento será o escoamento e maior será a capacidade de absorver água através de capilaridade (ARGILÉS, 1999 *apud* SILVA, 2007; MELO JÚNIOR, 2010).

Figura 11 – Fases de interação de água nas fachadas



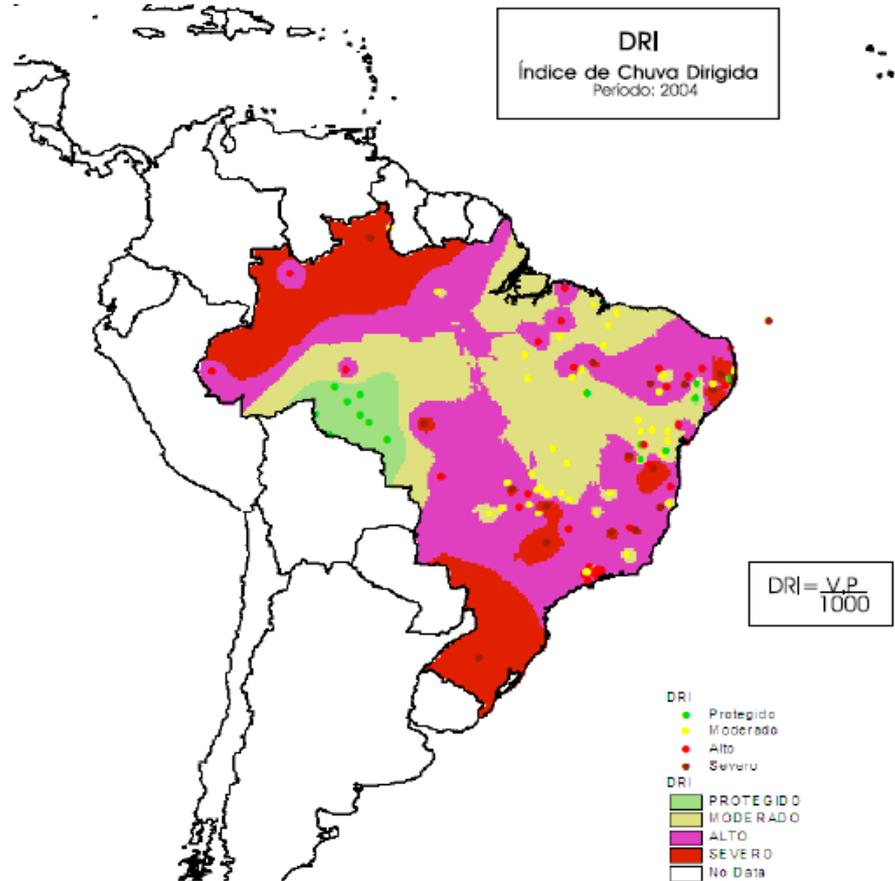
Fonte: Melo Júnior (2010)

A ocorrência das chuvas sem estar associada ao vento cairia verticalmente e praticamente não umedeceria as fachadas. Assim, os planos verticais externos se expõem a variados níveis de umidade que se unem diretamente com a direção e intensidade do vento. A esta associação entre chuva e vento dá-se o nome de chuva dirigida, a qual é representada pela precipitação que se dá por uma componente de velocidade horizontal de vento, fazendo com que se dissemine de forma oblíqua (MELO JÚNIOR, 2010).

As fachadas que se apresentam em regiões onde sopra vento pluvial dominante ganharão maior volume de água de chuva em relação às demais, portanto a orientação da fachada é fundamental para a quantificação de umidade proveniente da chuva (PETRUCCI, 2000). Estas fachadas expostas à ação da água da chuva mais o vento possuem sistemas construtivos e materiais que reagem de forma diferenciada à umidificação (LIMA E MORELLI, 2005). De acordo com Melo Júnior e Carasek (2011), o manchamento é uma das principais manifestações patológicas em fachadas provocado pela chuva dirigida. Lima e Morelli (2005) completam dizendo que tanto o manchamento como as infiltrações, desagregações e outros, provocados pela chuva dirigida são notados ao longo prazo e suas manifestações dependem do tipo e qualidade do material de revestimento da fachada avaliada.

O primeiro mapa de chuva dirigida brasileiro foi desenvolvido por Lima e Morelli em 2004, apresentando o grau de exposição de chuva dirigida para cada região, porém não indica o sentido de incidência. Como se pode observar no mapa (Figura 12), a predominância do índice de chuva dirigida no território brasileiro é de alto a severo, apresentando algumas regiões com exposição moderada, e pequena porção protegida às ações de chuva dirigida. Analisa-se ainda que o estado do Rio Grande do Sul se localiza por completo na região de exposição severa, merecendo a atenção de monitoramento dos seus efeitos.

Figura 12 – Mapa brasileiro de chuva dirigida para o ano de 2004



Fonte: Lima e Morelli (2005)

Como apresentado por Flores (2014), a direção predominante dos ventos na cidade de Santa Maria/RS é leste e sudeste. Deste modo, deve-se ter atenção às fachadas dispostas nestas orientações, pois haverá grande incidência de chuva dirigida. Sendo que, também a fachada sul irá receber grande parte da água de chuva dirigida advinda da direção sudeste.

2.3.3 Temperatura do ar

A temperatura do ar é uma variável climática que, conforme explica Zanoni (2015), indica a quantidade de calor existente no ar, sendo o resultado da radiação solar atuante sobre a superfície terrestre e do balanço energético. A radiação solar esquenta o solo e as superfícies que liberam o calor por convecção esquentam o ar. Melo Júnior (2010) profere que a distribuição da temperatura sobre a superfície da Terra pode ser influenciada por diversos fatores, como a quantidade de insolação recebida, o relevo, a natureza das superfícies, a distância de corpos hídricos, as correntes dos oceanos e também a predominância de ventos.

A variação da temperatura provoca alterações físicas nos materiais de construção, principalmente dimensional, pois sofre dilatação quando aquecido e, ao contrário, quando resfriado, contrai-se, sendo estas as principais causas de formação de manifestação patológica na edificação causadas pela temperatura. Estas alterações geram tensões que podem causar deformação ou ruptura do material, e para que ocorram, dependem da magnitude da mudança dimensional do material, do coeficiente de elasticidade, do grau de restrição dos movimentos do material, e da mudança do teor de umidade contida no material (LERSCH, 2003).

2.3.4 Umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é a manifestação da quantidade de vapor de água existente na atmosfera, que se apresenta misturado com o ar seco. A grandeza de umidade é expressa em percentagem, podendo aumentar devido à evaporação ou diminuir devido à condensação. Os processos de evaporação e evapotranspiração que regulam a umidade relativa do ar sofrem influência do regime dos ventos, ciclo hidrológico, topografia, ocupação urbana, lagos, rios, mares, vegetação, etc. (ZANONI, 2015).

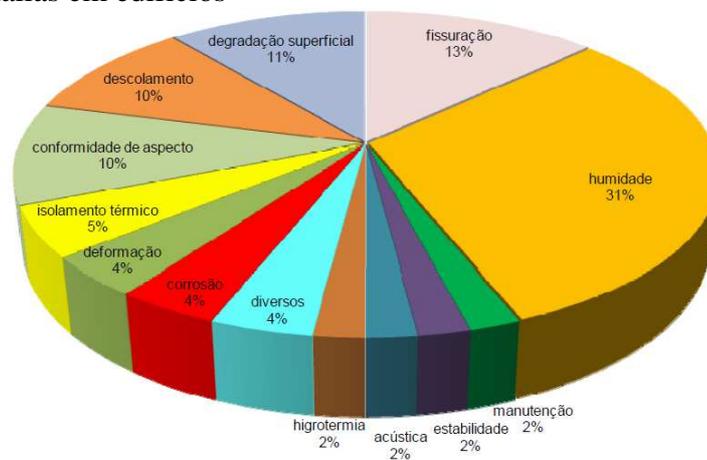
2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS

“Do grego *phátos* (doença) + *logos* (tratado, estudo), o termo *Patologia* refere-se à parte da Medicina que estuda as doenças, seus sintomas e a natureza das modificações que elas provocam no organismo” (MAGALHÃES, 2002, p. 2). Assim como na Medicina, na Engenharia Civil também se detectam manifestações patológicas nas edificações, avaliadas por meio de sintomas e causas, buscando a melhor forma de tratamento a fim de combatê-las.

O estudo da patologia nas construções deve ser abrangida como um parâmetro relevante, conforme Taguchi (2008). Deste modo, os aspectos que ressaltam a devida importância ao estudo da patologia nas construções são compreendidos pela evolução da tecnologia dos materiais de construção e das técnicas de projeto e execução, ocasião socioeconômica de países em desenvolvimento conduzindo obras com agilidade, mas com pouca rigidez de controle de qualidade, pela deficiência de consciência do dever de manutenção ou prevenção, ausência de anotações e registros decorrentes do não acompanhamento da obra, e normatização insuficiente.

A maior parte dos problemas ocasionados nos edifícios é decorrente da existência de umidade, e este fato se afirma por meio do gráfico ilustrado na Figura 13, elaborado pelo CTSC - *Centre Scientifique Et Technique De La Construction* (2002 *apud* Oliveira, 2013, p. 7). Observa-se que a soma de percentagem da umidade (31%) com outras causas ligadas de forma direta ou indireta a ela e que se relacionam com a degradação das fachadas, identificadas no gráfico pela degradação superficial (11%), descolamento (10%) e higrrotermia (2%), resultam em mais de 50%, ou seja, é nítido que os fenômenos de anomalias causados pela umidade em edifícios possuem significativa relevância.

Figura 13 – Anomalias em edifícios



Fonte: CSTC (2002) *apud* Oliveira (2013)

A origem das manifestações patológicas pode ser classificada em basicamente quatro tipos, e Roscoe (2008, p. 51) elucida cada uma delas:

- a) Congênitas: são aquelas originárias da fase de projeto, em função da não observância das normas técnicas, ou de erros e omissões dos profissionais, que resultam em falhas no detalhamento e concepção inadequada dos revestimentos. Causam em torno de 40% das avarias registradas em edificações;
- b) Construtivas: sua origem está relacionada à fase de execução da obra, resultante do emprego de mão de obra despreparada, produtos não certificados e ausência de metodologia, o que, segundo pesquisas mundiais, são responsáveis por 25% das anomalias em edificações;
- c) Adquiridas: ocorrem durante a vida útil do material, sendo resultado da exposição ao meio em que se inserem, podendo ser naturais, decorrentes de agressividade do meio, ou decorrentes da ação humana, em função de manutenção inadequada ou realização

de interferência incorreta, danificando o material e desencadeando um processo patológico;

- d) Acidentais: são caracterizadas pela ocorrência de algum fenômeno atípico, resultado de uma solicitação incomum, como a ação da chuva com ventos de intensidade anormal, recalques estruturais e incêndios, entre outros.

Conforme Carasek (2007), nos revestimentos de argamassa, sua prematura deterioração é proveniente de várias formas de agressão, classificando-se em físicas, mecânicas, químicas ou biológicas. Porém, a autora afirma que a distinção entre os processos é puramente didática, pois, na prática, normalmente eles se sobrepõem, devendo-se considerar suas interações. A Figura 14 demonstra a classificação dos processos de deterioração dos revestimentos de argamassa bem como exemplos de suas causas típicas.

Figura 14 – Processos de deterioração dos revestimentos de argamassa



Fonte: Adaptado de Carasek (2007)

2.4.1 Principais manifestações patológicas

As principais manifestações patológicas em revestimentos de argamassa em fachadas podem ser classificadas em (CINCOTTO *et al.*, 1995; MACIEL, 1997; ZANONI, 2015):

- fissuras e trincas;
- descolamento e destacamento;
- vesículas;
- eflorescência;
- sujidades;

- f) degradação biológica.

2.4.1.1 *Fissuras e trincas*

Entre as mais diversas manifestações patológicas existentes em um edifício, as fissuras e trincas ganham grande destaque segundo Thomaz (1992), em função de três aspectos fundamentais: aviso de um possível estado grave da estrutura, comprometimento do desempenho da obra em serviço considerando a estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica, e em função do constrangimento psicológico dos usuários exercido pela fissuração do edifício.

De acordo com a NBR 8802 – Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica (ABNT, 2013), fissura é a ruptura no material sob ações mecânicas ou físico-químicas com abertura até 0,5 mm, enquanto trinca é a ruptura que ocorre com abertura acima de 0,5 mm. E a NBR 15575-4 – Edificações habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) estabelece, ainda, que as fissuras são toleráveis quando em um corpo da fachada não sejam detectáveis a olho nu por um observador que esteja posicionado a 1,00 m da superfície do elemento analisado, em um cone visual com ângulo igual ou inferior a 60°, sendo iluminado por luz natural em dia sem nebulosidade.

A penetração de água em baixa pressão em uma fachada é favorecida na existência de fissuras. Portanto, o estabelecimento do começo de deterioração de uma argamassa pode ser observado a partir do surgimento de fissuras, a qual pode ter sua intensidade de degradação julgada através da sua forma de distribuição, densidade e abertura, podendo-se estimar sua vida útil e planejar metodologias de reparação (ZANONI, 2015).

As fissuras e trincas podem ser classificadas conforme diferentes critérios como a abertura, a atividade, a forma, as causas, a direção, as tensões envolvidas, o tipo, entre outras (TAGUCHI, 2010). Foram classificadas por Silva (2007) em função de suas causas por: movimentações térmicas, movimentações higroscópicas, atuação de sobrecargas, deformação excessiva de estrutura de concreto armado, recalques de fundação, retração de produtos à base de cimento, alterações químicas dos materiais de construção e hidratação retardada de cales.

Os revestimentos de argamassa possuem essencialmente três tipos de fissuras, conforme se apresenta na Figura 15, sendo elas (CINCOTTO, SILVA E CARASEK, 1995):

- a) Fissuras horizontais: manifestam-se normalmente ao longo de toda a parede com espessuras variáveis, podendo ocorrer descolamento do revestimento em placas, e sua ocorrência se dá pela expansão da argamassa de assentamento pela hidratação

retardada do óxido de magnésio da cal, pela reação cimento-sulfatos, ou ainda pela presença de argilo-minerais expansivos no agregado;

- b) Fissuras mapeadas: distribuem-se por toda a superfície do revestimento, podendo acarretar o descolamento do revestimento em placas e levar à desagregação, e ocorre em função da retração da argamassa por excesso de finos de agregado, utilização do cimento como único aglomerante e quantidade de água de amassamento;
- c) Fissuras geométricas: apresentam-se em torno do componente de alvenaria e sucedem-se pela retração da argamassa de assentamento por excesso de cimento ou de finos de agregado e movimentação higrótérmica do componente.

Figura 15 – Manifestação patológica por fissuras



Fonte: Adaptado de Magalhães (2004); Terra (2001)

As causas mais prováveis de surgimento de fissuras e trincas se devem à retração da argamassa, dilatações e contrações térmicas, dosagem da argamassa com deficiência, espessura inadequada do revestimento, deslocamento do suporte, concentrações de tensões, etc. (MAGALHÃES, 2002).

2.4.1.2 *Descolamento e destacamento*

O descolamento se distingue pelo afastamento do revestimento de argamassa em relação a sua base, podendo ser percebido pelo som cavo que se ouve quando submetido à percussão. Nada mais é do que a perda de aderência no sistema de revestimento em virtude do fenômeno de fadiga, que se submete a solicitações que excedem sua resistência de aderência entre as camadas. Já o destacamento é consequência do descolamento, ocorrendo quando há queda de partes do sistema de revestimento, ou seja, sucede-se a separação da argamassa de

sua base ocasionando, por conseguinte, riscos de segurança aos usuários (MAGALHÃES, 2002; ZANONI, 2015).

O descolamento pode se manifestar de três formas, conforme se apresenta na Figura 16 (CINCOTTO; SILVA; CARASEK, 1995):

- a) Descolamento com empolamento: ocorre quando há o descolamento da superfície do reboco sobre o emboço, formando bolhas que aumentam ao longo do tempo, e sua causa normalmente se deve à retardada hidratação do óxido de magnésio da cal;
- b) Descolamento em placas: ocorre o destacamento do revestimento, que pode ocorrer de duas formas, quando a placa se desloca com dificuldade e quando a placa se desloca com facilidade. A primeira se deve pela argamassa ser rica em cimento, ou pela aplicação da camada muito espessa, ou quando a superfície da base é muito lisa ou possui impregnação de substância hidrófuga, ou ainda pela inexistência da camada de chapisco. E a segunda se deve pela argamassa ser magra e/ou pela inexistência da camada de chapisco;
- c) Descolamento com pulverulência: é ocasionada pelo descolamento da película de hidrorrepelente que arrasta o reboco, o qual se desagrega com facilidade. Sua causa pode ser explicada pelo excesso de finos no agregado, pela argamassa magra ou rica em cal, pela ausência de carbonatação da cal, ou pela aplicação de uma camada da argamassa muito espessa.

Figura 16 – Formas de descolamento



Fonte: Adaptado de Chaves (2009); Ferreira (2010)

As causas do descolamento e do destacamento são as mesmas, pois um leva a ocorrência do outro. Chaves (2009, p. 28) apresenta as causas mais comuns: instabilidade do suporte; suporte recém-executado quando do assentamento do revestimento; deformação da estrutura de concreto armado; variações higrotérmicas e de temperatura; ausência de detalhes

construtivos; assentamento sobre superfície contaminada; utilização de argamassa; mão de obra deficiente; e mau controle dos serviços.

2.4.1.3 *Vesículas*

O surgimento de vesículas nos revestimentos é ocasionado pela variação volumétrica de materiais inorgânicos presentes e dispersos na argamassa (SEGAT, 2005). Esta manifestação é causada, segundo Bauer (1997), por: pedras de cal parcialmente extintas, matéria orgânica contida na areia, torrões de argila dispersos na argamassa, impurezas como pirita e torrões ferruginosos e contaminação de areia durante estocagem. Os efeitos que surgem no revestimento são identificados por empolamento da pintura e bolhas com umidade. A Figura 17 ilustra a manifestação de vesículas em revestimentos de argamassa.

Figura 17 – Manifestação patológica de vesículas



Fonte: Adaptado de Ferreira (2010)

2.4.1.4 *Eflorescência*

A eflorescência é uma anomalia que se caracteriza pelo surgimento de depósitos salinos esbranquiçados na superfície do revestimento, quando os sais solúveis das argamassas são transportados através dos poros do revestimento se solidificando em contato com o ar. É formada por sais de metais alcalinos e alcalino-ferrosos, que, com a ação da água da chuva, são diluídos e migram para a superfície. Com a evaporação da água, resulta-se a formação de tais depósitos salinos (CHAVES, 2009). A geometria dos cristais salinos lembra flores. Por esse motivo, a palavra “florescência” é empregada para nomear qualquer tipo de cristalização de sais. Além do fenômeno de eflorescência, há também a criptoflorescência, que ocorre quando a cristalização dos sais se forma antes destes alcançarem a superfície do revestimento (MAGALHÃES, 2008). A Figura 18 ilustra uma manifestação patológica de eflorescência.

Figura 18 – Manifestação patológica de eflorescência



Fonte: Ferreira (2010)

Taguchi (2010) salienta que, para ocorrer eflorescência, deve haver três condições: existência de teor de sais solúveis nos materiais ou componentes, presença de água, e pressão hidrostática necessária para que a solução migre para a superfície. O mesmo autor cita também que os fatores externos que contribuem para esta manifestação patológica são representados pela quantidade de água, pelo tempo de contato, e pelo aumento da temperatura e porosidade dos materiais.

2.4.1.5 *Sujidades*

A poluição atmosférica é o principal responsável pelo surgimento de manchas de sujidades, pois recobre os revestimentos com pó, fuligem e partículas contaminantes com subsídio da ação do vento e da chuva, sendo que a quantidade depositada depende da porosidade do material e da forma das fachadas. O vento irá dispersar as partículas que poderão se depositar na fachada da edificação, e a chuva que escorrerá pela fachada irá absorver e arrastar os depósitos de sujidade. A porosidade do material permite que a água penetre nos poros do revestimento colmatando a sujidade causada pela chuva, enquanto que a forma da fachada permite depósito maior de partículas em superfícies horizontais e nas continuidades que se tornam pontos de acumulação de sujidade (CHAVES, 2009). Na Figura 19, ilustra-se a manifestação patológica de sujidade.

Figura 19 – Manifestação patológica de sujidade



Fonte: Monteiro (2008)

Este tipo de manifestação patológica se agrava em função de diversos aspectos, como: textura do revestimento (rugosidade), existência ou falta de elementos protetores da fachada, e a orientação da fachada em relação à direção de atuação do vento e do sol. Entre estes, a textura do revestimento é a mais relevante, pois, quando for mais compacta e menos rugosa, facilitará o escoamento da sujidade pela ação da água e tornará os caminhos mais visíveis, e ao contrário, quando for uma superfície mais porosa e mais rugosa irá favorecer o depósito de poeiras e outras sujidades, dificultará na limpeza simples ou pela água da chuva, e os caminhos do escoamento serão diversificados (MAGALHÃES, 2002).

Em um primeiro momento, as manchas de sujidades causam na fachada um problema apenas estético, porém, podem evoluir em uma região com colonização biológica pela grande presença de umidade, contribuindo, deste modo, para o surgimento e agravamento de outras manifestações patológicas (GASPAR, 2009).

2.4.1.6 *Degradação biológica*

Esta manifestação patológica afeta a edificação a partir da ação de organismos ou microorganismos vivos, podendo ser algas, musgos, líquens, fungos, animais ou vegetais. Depositam-se sobre as superfícies dos revestimentos, nas fendas, fissuras e vazios existentes e proliferam-se conforme seu metabolismo, disponibilidade de nutrientes e condições climáticas. Em fachadas, o principal agente de degradação são os fungos, pois se adaptam

com facilidade em meios bastante úmidos e com grande variação de temperatura (MAGALHÃES, 2002).

As causas que favorecem a ocorrência deste tipo de manifestação patológica se relacionam com a presença de umidade, falta de ventilação, a qualidade do ar interno e externo, condições de temperatura, variações sazonais, microclima interno, projetos de construção, tipos de materiais orgânicos, acúmulo de pó, terra e sujeira na superfície do revestimento, porosidade elevada do revestimento, ocupação e manutenção em um edifício (MAGALHÃES, 2002; SAAD, 2002).

Os fungos são organismos filamentosos que se reproduzem por meio de esporos, sendo estruturas microscópicas. Crescem em locais em que a umidade está sempre presente. Nos materiais, a umidade deve estar sempre elevada para o seu desenvolvimento, ou a umidade relativa do ambiente deve estar bem acentuada. Proliferam-se bem normalmente em temperatura entre 10° a 35°C. Para prevenir a sua reprodução, deve-se, na fase de projeto, permitir correta ventilação, iluminação e luz natural nos ambientes, permitir o mínimo possível de infiltração de água nas paredes, pisos ou coberturas. Caso já tenham se manifestado, será necessário limpar as superfícies infectadas, aplicar fungicidas ou trocar o revestimento por outro que resista melhor ao desenvolvimento dos fungos (ALUCCI *et al.*, 1988 *apud* SOBRINHO, 2008).

Os fungos que formam manchas alteram a estética das paredes das fachadas, podendo apresentar coloração escura com tonalidade preta, marrom e verde, e, em coloração clara, esbranquiçada ou amarelada (SHIRAKAWA *et al.*, 1995). Para Taguchi (2010), além de alterar a coloração da fachada, as manchas também causam modificações na resistência superficial. A Figura 20 ilustra manifestações patológicas decorrentes da degradação biológica.

Figura 20 – Manifestações patológicas de degradação biológica



FUNGOS COM MANCHA COM
TONALIDADE VERDE

FUNGOS COM MANCHA COM
TONALIDADE MARROM E PRETA

FORMAÇÃO DE MUSGOS

Fonte: Adaptado de Ferreira (2010); Oliveira (2011)

Conforme Shirakawa *et al.* (1995), as principais causas extrínsecas ao material que causam aumento do teor de água que possibilitam o crescimento dos fungos ligadas às características do substrato é a umidade ascendente por capilaridade, a umidade de infiltração através da fachada ou telhado, a umidade accidental, a umidade relativa do ar em torno de 80% e a umidade de condensação de vapores em ambientes fechados. Vitanen *et al.* (2008 *apud* ZANONI, 2015) pronuncia que, para haver degradação biológica, é preciso certa duração das condições de exposição favoráveis para o crescimento de microorganismos, pois elevados níveis de umidade em pouco espaço de tempo não são suficientes para o crescimento dos fungos se a umidade não persistir por mais tempo.

2.4.2 Avaliação das manifestações patológicas em fachadas

Para corrigir uma manifestação patológica, faz-se necessária uma correta avaliação de suas causas e de um diagnóstico preciso, porém, a complexidade dos elementos construtivos e a falta de informações torna esta prática dificultosa (FREITAS *et al.*, 2007). Neste sentido, Tinoco (2009) aborda que as manifestações patológicas de uma edificação exigem seu entendimento considerando o saber, o conhecer e o compreender, em todos os níveis que envolvem as manifestações patológicas dos sistemas, bem como dos componentes construtivos.

A avaliação das manifestações patológicas existentes em fachadas deve ser realizada preferencialmente no início de seu surgimento, possuindo, deste modo, os seguintes objetivos: detectar o processo de deterioração em sua fase inicial, investigar e determinar as causas de tal degradação, monitorar a evolução do processo de degradação, respeitando a intensidade e extensão dos danos, adotando decisões corretas em tempo adequado (TAGUCHI, 2009).

Lichtenstein (1985) elaborou uma metodologia para realizar a avaliação de uma manifestação patológica, a qual apresenta os processos de investigação para determinação do nível de degradação de uma edificação, diagnosticando o tipo de anomalia, as causas, e a correta intervenção. Esta metodologia é estruturada em três partes: levantamento de subsídios, diagnóstico da situação, e definição de conduta, as quais podem ser visualizadas no esquema na Figura 21.

Figura 21 – Estrutura para avaliação de uma manifestação patológica



Fonte: Adaptado de Lichtenstein (1985)

2.4.2.1 Levantamento dos subsídios

O levantamento de subsídios se refere à acumulação e organização de informações suficientemente necessárias para a completa compreensão dos fenômenos (LICHTENSTEIN, 1985). Tinoco (2009) complementa que nesta etapa se conhece os materiais que foram empregados, bem como a técnica utilizada e os sistemas construtivos.

Assim, nesta primeira parte de avaliação é recomendado realizar (a) vistoria do local, (b) anamnese e (c) exames complementares:

- a) Vistoria do local: é uma inspeção com o intuito de buscar indicativos e sintomas da ocorrência de algum fenômeno que prejudique o bom desempenho dos elementos construtivos da construção, verificando a existência e seriedade dos danos, a extensão e o alcance dos problemas, as características físico-químicas dos materiais e dos danos, e registrando os resultados da vistoria (TINOCO, 2009);
- b) Anamnese: utilizada quando a vistoria do local não foi suficiente. A anamnese de origem grega significa recordar, e é realizada a partir de levantamento histórico evolutivo da manifestação patológica desde seu aparecimento inicial, podendo-se descrever também o quadro geral do desempenho da vida do edifício. As informações são obtidas por meio de investigação com pessoas envolvidas com a construção e pela análise de documentos formais (LICHTENSTEIN, 1985). Segundo Tinoco (2009), as pessoas envolvidas podem ser moradores e usuários da edificação que estiveram presentes durante a construção, e os documentos podem ser diário de obra, registro de

recebimento de materiais e componentes, notas fiscais, contrato de execução dos serviços, cronograma físico-financeiro previsto e executado;

- c) Exames complementares: é necessária sua realização quando a vistoria do local e a anamnese não forem suficientes para a elaboração do diagnóstico, podendo ser realizado por meio de análises e ensaios de laboratório ou *in loco* (LICHTENSTEIN, 1985). Conforme Tinoco (2009), estes ensaios possuem custos elevados e são realizados para determinar as propriedades físico-químicas dos materiais e elementos construtivos, além disso, podem ser de caráter destrutivo ou não destrutivo.

2.4.2.2 *Diagnóstico da situação*

A compreensão dos fenômenos causadores das manifestações patológicas se dá por meio da realização do diagnóstico da situação, conforme explica Lichtenstein (1985). Tinoco (2009) diz que o diagnóstico de uma manifestação patológica se dá pelo processo de interpretação de hipóteses que tendem a esclarecer as origens, causas, natureza, mecanismos e agentes que estejam provocando a perda do desempenho de certo material ou elemento construtivo.

O diagnóstico de um problema patológico precisa ser um processo de análise que compreenda e considere todo o processo de evolução do caso, e não deve ser feita de maneira imediatista, pois pode resultar em uma intervenção inadequada (TUTIKIAN; PACHECO, 2013). Desta maneira, a Figura 22 apresenta as etapas e a importância de um diagnóstico das manifestações patológicas em um edifício.

Figura 22 – Etapas e importância de um diagnóstico das manifestações patológicas em um edifício



Fonte: Adaptado de Tutikian e Pacheco (2013)

Ainda, de acordo com Tutikian e Pacheco (2013), em um diagnóstico, sempre haverá um grau de incerteza e a eficácia da conduta só será confirmada a partir da resposta da estrutura após a aplicação do tratamento prescrito. Os autores ressaltam que a coleta dos dados para o diagnóstico deve ser realizada ordenadamente, caso contrário, com coleta desordenada e excessiva pode ocasionar dificuldades de interpretação e ainda levar o responsável técnico a emitir o erro de designação da manifestação patológica.

2.4.2.3 Definição de conduta

O diagnóstico da situação possui como objetivo indicar qual o trabalho que deverá ser executado para resolver o problema patológico, definindo qual o tipo de material, mão de obra e equipamentos a serem utilizados para realização de tal trabalho. Para definir a conduta, deve-se levantar as hipóteses da tendência de evolução da manifestação patológica e determinar as alternativas de intervenção acompanhadas de seus prognósticos (LICHTENSTEIN, 1985).

Para a elaboração do prognóstico, Tutikian e Pacheco (2013) comentam que o responsável técnico deve analisar e estudar o problema se baseando em certos parâmetros: quadro de evolução natural da manifestação patológica, condições de exposição que se

encontra a edificação, tipo de terreno que se localiza e a tipologia do problema. Neste sentido, a terceira e última parte de avaliação de uma manifestação patológica ocorre em três etapas, (a) alternativas de intervenção, (b) decisão de terapia e (c) resolução do problema:

- a) Alternativas de intervenção: exige do técnico responsável conhecimento da tecnologia disponível para a intervenção e muita criatividade. Será a partir da criatividade que imaginará e formalizará as alternativas de conduta de intervenção, que deverão ser julgadas e hierarquizadas (LICHTENSTEIN, 1985).
- b) Decisão de terapia: é a decisão final, conduzida pela busca do melhor desempenho possível, dentro do menor custo atingível, ou seja, baseia-se na relação custo/benefício de cada alternativa satisfazendo certo desempenho final mínimo exigido. Sempre há um grau de incerteza em relação à alternativa escolhida, pois é decidida em meio probabilístico. A definição da terapia é realizada levando-se em conta três parâmetros básicos: grau de incerteza sobre os efeitos, relação custo/benefício, e disponibilidade de tecnologia para execução dos serviços (LICHTENSTEIN, 1985).
- c) Resolução do problema: a partir do prognóstico, será definida a maneira de resolução do problema, que poderá ser de erradicar a enfermidade, de impedir ou controlar a evolução da manifestação patológica, ou ainda se pode definir em não intervir, devendo, neste caso, estimar-se o tempo de vida do elemento, limitar sua utilização e, se for necessário, como última alternativa, indicar demolição (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

2.5 TRATAMENTO DE UMIDADE EM FACHADAS

De modo a evitar o surgimento de manifestações patológicas em fachadas decorrentes da ação dos agentes do meio externo, emprega-se o uso de processos de impermeabilização, evitando que a água penetre pela alvenaria e cause danos ao edifício. Impermeabilização é definida pela NBR 9575 – Impermeabilização – Seleção e projeto (ABNT, 2010, p.5), como o “conjunto de operações e técnicas construtivas (serviços), composto por uma ou mais camadas, que tem por finalidade proteger as construções contra a ação deletéria de fluídos, de vapores e da umidade”.

É importante ressaltar que a impermeabilização deve ser realizada na fase de execução da obra, portanto prevista em projeto. Caso contrário, se necessário, também pode ser feita após a execução, porém os custos são bem mais elevados do que se tivesse sido prevista

anteriormente, e por vezes, até inviabiliza alguns processos de impermeabilização. Quando realizada na fase de execução, seus custos atingem menos de cerca de 3% do custo total obra, bem mais razoável, além de se tornar mais eficaz (COSTA, 2008).

Como mencionado, a impermeabilização deve ser prevista em projeto seguindo alguns requisitos para que possa atingir os objetivos pelos quais foi projetada. Assim, a NBR 9575 (ABNT, 2010) explica que a impermeabilização deve impedir o acesso de fluidos e vapores nas edificações, proteger os elementos e componentes construtivos que se encontrarem sujeitos a intempéries e proteger, também, contra a ação de agentes agressivos existentes na atmosfera, e ainda, permitir o acesso à impermeabilização sempre que possível e impedir ao máximo a necessidade de intervenção decorrida de falhas da impermeabilização.

Para cada elemento da construção a ser tratado contra a ação de umidade, há várias formas de tratamento e materiais a serem empregados, devendo-se optar por aquele que mais se adequa à situação. Isto é válido tanto para sistemas de impermeabilização previstos em projeto, quanto para aqueles em que houver a necessidade de se implantar como forma de recuperação de uma superfície degradada pela umidade.

2.5.1 Tipos de tratamento

Os tratamentos de impermeabilização são divididos em dois grupos: impermeabilização flexível e impermeabilização rígida. A primeira é o conjunto de materiais ou produtos que possuem propriedades de flexibilidade compatíveis e aplicáveis a elementos construtivos que estão sujeitos às movimentações. Já a segunda, ao contrário, é o conjunto de materiais ou produtos que não possuem propriedades de flexibilidade compatíveis e aplicáveis a elementos construtivos que estão sujeitos às movimentações (NBR 9575, ABNT 2010).

A classificação dos tipos de impermeabilização é regida pela NBR 9575 (ABNT, 2010), a qual realiza esta classificação de acordo com o principal material constituinte da camada impermeável, dividindo-os essencialmente em três grupos. Deste modo, tem-se os materiais cimentícios, considerados como uma impermeabilização rígida, e os materiais asfálticos e materiais poliméricos, que, por sua vez, são uma impermeabilização flexível.

Com o foco de tratamento de umidade em superfícies de fachadas, será abordada a impermeabilização com materiais cimentícios, de argamassa com aditivo impermeabilizante e argamassa polimérica, e a impermeabilização com material polimérico de membrana acrílica para impermeabilização com destaque para os hidrorrepelentes. Porém, observa-se que há

outros tipos de impermeabilização, mas optou-se por proferir aqueles que mais se enquadram com os objetivos deste trabalho.

2.5.1.1 Argamassa com aditivo impermeabilizante

“Tipo de impermeabilização de argamassa dosada em obra, aplicada em substrato de alvenaria, constituída de areia, cimento, aditivo impermeabilizante e água” (NBR 9575, ABNT 2010, p.2), define-se por argamassa com aditivo impermeabilizante. Estas argamassas são uma impermeabilização rígida e possuem como principal objetivo impedir a penetração de água, estando sujeitas a certas condições de pressão (EMO, 2016). Como o próprio nome sugere, o principal componente da mistura que permite alcançar o objetivo de estanqueidade é o aditivo impermeabilizante, que, por sua vez, é um “produto adicionado à argamassa ou ao concreto até a quantidade de 1% em relação ao peso do produto final, para promover propriedades impermeabilizantes” (NBR 9575, ABNT 2010, p.1).

Os aditivos impermeabilizantes, além de repelir a água das superfícies, possuem capacidade de fechar os poros capilares e impedir, ao menos parcialmente, a penetração de água e sua movimentação na argamassa. Desta forma, aumentam a durabilidade das argamassas, possibilitando diminuir as degradações provocadas pela umidade, pois evitam a penetração de agentes agressivos. Além de permitir a estanqueidade de argamassas no estado endurecido, proporcionam melhor trabalhabilidade e redução da relação água/cimento no estado fresco (COSTA, 2008). Medeiros (2008) complementa que estes aditivos permitem a circulação do vapor de água, porém não são tão eficazes como barreira contínua aos agentes agressivos, principalmente quando comparados com produtos que formam películas nas superfícies dos elementos.

As argamassas com aditivo impermeabilizante podem ser obtidas da maneira tradicional (dosada em obra) ou de maneira industrializada (pré-dosada em fábrica). Na primeira alternativa, resulta-se em argamassas com menor garantia de qualidade, por mais que as empresas fabricantes de aditivos forneçam informações necessárias para uma boa dosagem em obra que permita atender a todos os requisitos exigidos, é possível que aconteça excesso ou defeito na quantidade dos materiais utilizados, ocasionando perda da qualidade. Ao contrário, na segunda alternativa, a quantidade dos constituintes da argamassa é determinada em fábrica de maneira controlada e rigorosa, bastando em obra apenas adicionar a quantidade de água definida pelo fabricante. Permitem manter um padrão de qualidade e garantir os

requisitos exigidos. Porém, os fabricantes não disponibilizam as porcentagens das dosagens utilizadas aos consumidores (COSTA, 2008).

2.5.1.2 Argamassa polimérica

A argamassa polimérica é um “tipo de impermeabilização industrializada, aplicada em substrato de concreto ou alvenaria, constituída de agregados minerais inertes, cimento e polímeros, formando um revestimento com propriedades impermeabilizantes” (NBR 9575, ABNT 2010, p.2).

É considerada uma impermeabilização rígida, porém Sayegh (2001) relata que as argamassas poliméricas acompanham pequenas movimentações das estruturas de maneira satisfatória, resistindo a pressões positivas e negativas. Deste modo, na verdade, pode ser dita como uma impermeabilização semiflexível.

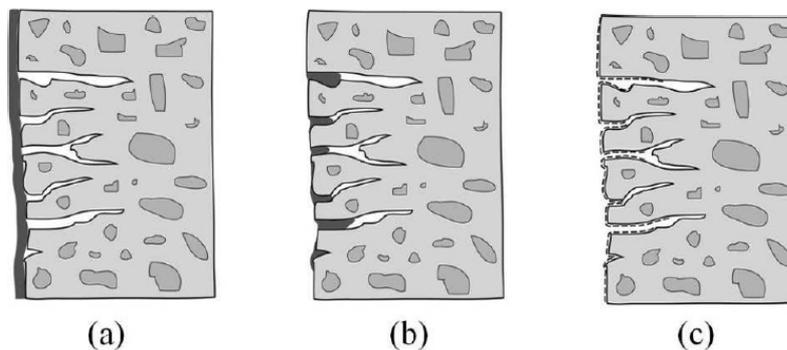
2.5.1.3 Membrana acrílica para impermeabilização: hidrorrepelentes

A membrana para impermeabilização é um tipo de impermeabilização polimérica e, conforme a NBR 9575 (ABNT, 2010, p. 5), é uma “camada de impermeabilização moldada no local, com características de flexibilidade e com espessura compatível para suportar as movimentações do substrato, podendo ser estruturada ou não”. As membranas podem ser, por exemplo, de poliuretano, poliureia, acrílica, epoxídica, de acetato de etivinila, etc. Deste modo, um dos tipos encontrado é a membrana acrílica para impermeabilização que pode ser representada pelos hidrorrepelentes.

Há, no mercado, uma gama de produtos com propriedade hidrorrepelente, que possuem como principal finalidade diminuir a absorção e a penetração de água nas fachadas. Normalmente, são produtos incolores ou transparentes, mas podem ser encontrados em diferentes cores (OLIVEIRA, 2013). A utilização deste produto como protetor superficial, conforme Medeiros (2008), tem ganhado grande destaque desde a década de 90 no setor construtivo internacional, sendo regularmente utilizado na manutenção dos edifícios.

Os hidrorrepelentes se caracterizam como um tratamento superficial e podem ser classificados em dois tipos: hidrorrepelentes com capacidade de formação de película e hidrorrepelentes com capacidade penetrante. O segundo pode ser subdividido em hidrorrepelentes bloqueadores de poros e hidrorrepelentes hidrofugantes de superfície. Esta classificação é demonstrada por Medeiros (2008), conforme ilustrado na Figura 23.

Figura 23 – Classificação dos hidrorrepelentes: (a) formação de película; (b) bloqueadores de poros; (c) hidrofugantes de superfície.



Fonte: Medeiros (2008)

O tratamento com produto hidrorrepelente formador de película (Figura 23 (a)) forma uma película contínua quando aplicado sobre a superfície da alvenaria. Possuem moléculas com grandes dimensões que evitam sua penetração nos substratos e aderência de uma película sobre a superfície da alvenaria. Podem ser produtos acrílicos, estearatos, ceras de goma mineral, uretanos e resinas de silicone. Sua eficácia é avaliada pela capacidade de impedir a penetração da água na alvenaria, podendo recobrir pequenas fissuras capilares, contudo pode-se verificar uma diminuição da permeabilidade ao vapor de água (OLIVEIRA, 2013).

Ao contrário do hidrorrepelente com formação de película como se observa na Figura 23 (a), os hidrorrepelentes com capacidade penetrante (Figura 23 (b) e (c)) entram na superfície dos poros capilares dos substratos. Conforme mesmo autor citado anteriormente, são produtos que alteram a força capilar dos poros na superfície da alvenaria de positiva (sucção) para negativa (repelência), revestem os interiores dos poros e permitem melhor transmissão de vapor de água. Normalmente conseguem atingir penetração na ordem de 10 mm e podem ser produtos silanos, siloxanos, silicatos, metil siliconatos e suas combinações.

Exigem-se certos requisitos dos produtos hidrorrepelentes para que atinjam um bom desempenho higroscópico, durabilidade e assiduidade de suas características físicas e químicas, sendo eles: estabilidade aos agentes químicos e à radiação ultravioleta, reduzida capacidade de absorção de água, reduzida influência sobre o aspecto visual das superfícies tratadas, permeabilidade ao vapor de água, facilidade de remoção quando sua ação hidrorrepelente estiver esgotada, facilidade de aplicação, reduzida lixiviação, e ausência de subprodutos agressivos ao ambiente e à população (MEDEIROS, 2008). Ainda, é acrescentado por Oliveira (2010) o requisito de proteção contra o desenvolvimento biológico.

2.5.2 Escolha do tratamento

Para a correta escolha do tipo de tratamento a ser empregado, opta-se de acordo com a solicitação em que a construção está imposta pelo fluido, e que, deste modo, necessita estanqueidade. Tal solicitação pode ocorrer de quatro formas diferentes: imposta pela água de percolação, imposta pela água de condensação, imposta pela umidade do solo, e imposta pelo fluido sob pressão unilateral ou bilateral (NBR 9575, ABNT 2010).

A escolha do tratamento a ser utilizado deve seguir algumas diretrizes de acordo com Souza e Melhado (1997), sendo elas: atender aos requisitos de desempenho, ter máxima racionalização construtiva, máxima construtibilidade, adequar o sistema de impermeabilização aos outros subsistemas e elementos e componentes da construção, possuir custo compatível com o empreendimento. Também, devem-se considerar os parâmetros de facilidade de execução, produtividade e método construtivo.

Para Righi (2009), não se pode considerar a escolha do tratamento apenas pelo custo da camada impermeável, mas também se deve observar o custo das demais camadas constituintes do sistema de impermeabilização e os custos de utilização e manutenção.

2.5.3 Recuperação de fachadas degradadas pela umidade

Quando se atinge a degradação dos revestimentos das fachadas, faz-se necessário adotar técnicas de recuperação, evitando-se a continuidade de danos ainda maiores para a edificação, garantindo que manifestações patológicas não reapareçam ou ainda que ocorra o seu agravamento. Entretanto, é importante salientar que as medidas de prevenção que impedem as manifestações patológicas causadas pela umidade, devem ser previstas na fase de projeto e executadas posteriormente (COSTA, 2008).

A escolha da solução de recuperação da degradação causada pela umidade são diversas, as quais dependem do tipo de anomalia existente, do tipo de construção e de quais objetivos se pretende alcançar. As intervenções são divididas em seis grupos: eliminação das anomalias, substituição dos elementos e materiais afetados, ocultação das anomalias, proteção contra os agentes agressivos, eliminação das causas das anomalias, e reforço das características funcionais (HENRIQUES, 2007). Esta tipificação é apresentada no Quadro 2 com suas respectivas características.

Quadro 2 – Intervenções de correção de manifestações patológicas ocasionadas pela umidade

INTERVENÇÃO	CARACTERIZAÇÃO
<i>Eliminação das manifestações patológicas</i>	Possibilita a resolução temporária e não se considera como solução definitiva.
<i>Substituição dos elementos e materiais afetados</i>	Quando os materiais se encontram em estado de difícil ou inviável reparação. Pode-se considerar definitivo quando se eliminar a anomalia ou se criar proteção contra os agentes agressivos.
<i>Ocultação das anomalias</i>	É a forma mais econômica de solução definitiva dos problemas patológicos em muitos casos, ainda que as anomalias e suas causas continuem a persistir.
<i>Proteção contra os agentes agressivos</i>	Impede a atuação direta dos agentes agressivos sobre os elementos construtivos, porém, sem eliminá-los.
<i>Eliminação das causas das anomalias</i>	Intervenção mais eficaz que elimina as causas que provocam as anomalias.
<i>Reforço das características funcionais</i>	Corrige situações de inadequação dos elementos de construção de frente às respectivas exigências funcionais. Pode eliminar de forma direta ou indireta a anomalia.

Fonte: Adaptado de Henriques (2007)

De acordo com Gonçalves *et al.* (2007), as intervenções de recuperação de fachadas degradadas pela umidade podem-se classificar em técnicas preventivas, curativas, de manutenção ou de reforço:

- a) Técnicas preventivas: são aquelas que visam a eliminar a causa, mas podem não tratar diretamente a anomalia. Utiliza-se nesta técnica produtos hidrorrepelentes que protegem a superfície do revestimento contra a ação da umidade;
- b) Técnicas de recuperação ou curativas: visa à substituição do material, à eliminação ou ocultação da anomalia, incluindo possível alteração das características ou geometria dos elementos de revestimento. Não elimina a causa, mas repara diretamente a anomalia. Pode-se aplicar recuperação integral ou parcial, aplicando um novo revestimento com ou sem retirada do existente;
- c) Técnicas de manutenção: corresponde a várias medidas aplicadas à edificação, permitindo que ela desempenhe suas funções de maneira satisfatória durante sua vida. Pode-se considerar as operações de limpeza e pequenas reparações;
- d) Técnicas de reforço: considera-se uma técnica que inclui materiais para o reforço do revestimento afetado, como por exemplo, colocação de revestimento armado aderente com isolamento térmico.

Henriques (2007) ressalta que as soluções de recuperação devem levar em consideração as condições de aplicabilidade, e que, apesar de serem genéricas, não podem ser avaliadas de uso universal. Deve-se considerar as particularidades de cada edificação para que o tipo de recuperação adotada não provoque problemas ou ainda outras anomalias que se pretendia combater inicialmente. Cada situação de recuperação deve ser considerada como

um único caso, e eventuais similaridades com casos anteriores, sendo necessário realizar testes de compatibilidade das soluções a serem implementadas com a construção.

2.5.4 Limpeza da fachada

É necessário se proceder à limpeza da fachada para a remoção da manifestação patológica existente, possibilitando posteriormente a intervenção necessária. Para Chaves (2009), na limpeza de uma fachada, deve haver equilíbrio entre a eliminação das manifestações patológicas existentes e a preservação do suporte, bem como do revestimento existente. Ou seja, deve-se eliminar o máximo da anomalia e o mínimo dos materiais que compõem o revestimento. O CSTC apresenta na Nota Informativa Técnica 197 – Limpeza de fachadas (NIT 197, CSTC 1995), a classificação das técnicas de limpeza em três grandes famílias: limpeza com água, limpeza química e limpeza mecânica, as quais estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3 – Técnicas de limpeza

TÉCNICA DE LIMPEZA	CARACTERÍSTICAS	TIPOS
<i>Limpeza com água</i>	Utiliza-se essencialmente a água na limpeza, sendo que os métodos se diferem entre si pela quantidade, temperatura e pressão da água.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escorrimento de água; ▪ Pulverização repetida com água a baixa pressão; ▪ Vapor saturado; ▪ Água sob alta pressão.
<i>Limpeza química</i>	Utilizam-se produtos químicos que facilitam a remoção das sujidades pela reação físico-química de superfície.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Produtos ácidos; ▪ Produtos alcalinos; ▪ Reagentes específicos; ▪ Solventes orgânicos; ▪ Tensioativos; ▪ Enzimas e bactérias.
<i>Limpeza mecânica</i>	Realiza a remoção do material superficial do revestimento.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escovagem a seco ou despoeiramento; ▪ Polimento, retificação ou desgaste; ▪ Técnicas de projeção de granulados com ar comprimido; ▪ Hidrojato.

Fonte: Adaptado de NIT 197 (CSTC, 1995)

A NIT 197 (CSTC, 1995) relata também que, quando há presença de musgos e fungos, utiliza-se uma solução de lixívia comercial (água sanitária) com concentração de cloro ativo de 5%, sendo aplicada generosamente. Após escovar, enxaguar e repetir se necessário.

Deste mesmo modo, a norma D 4610 – *Determining the presence of and removing microbial (Fungal or Algal) growth on paint and related coatings* (ASTM, 1998), apresenta

um método de limpeza para a remoção de fungos e algas existentes sobre superfície com pintura e revestimentos relacionados. É uma técnica de limpeza química utilizando reagentes como o hipoclorito de sódio 5% (água sanitária comercial) e/ou detergentes sem fosfato. Inicialmente se deve molhar a superfície para diminuir a penetração do reagente no revestimento, e em seguida, pode-se aplicar e lavar com o detergente e realizar o enxague para sua remoção residual. Parte-se, após, para a lavagem da superfície, aplicando e esfregando com uma esponja, ou outro aplicador adequado, hipoclorito de sódio 5%, o qual deve permanecer na superfície em torno de 10 a 15 minutos, a qual, em seguida, deve ser enxaguada com água para remover os resíduos do hipoclorito de sódio.

2.6 DESEMPENHO À ESTANQUEIDADE À ÁGUA DE FACHADAS

A água é um dos fatores externos de degradação de fachadas de edifícios que inconvenientemente afeta a durabilidade de seus materiais constituintes, conseqüentemente diminuindo sua vida útil. Para se alcançar devidamente o período de vida útil estabelecido das edificações, principalmente se tratando de fachadas, é fundamental não somente garantir uma apropriada especificação e detalhamentos na fase de projeto, e também na fase de execução da construção dos seus elementos, mas também incluir e garantir sua constante manutenção (TEIXEIRA, 2011).

Durabilidade é definida pela NBR 15575-1 – Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais (ABNT, 2013, p. 7), como a “capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção”. E amplia este conceito explicando que:

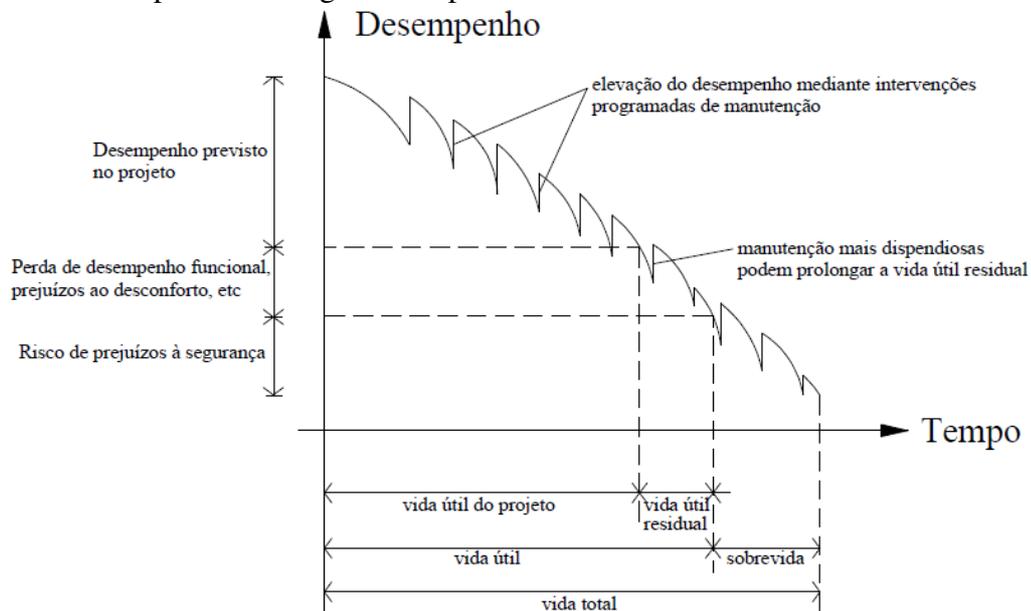
A durabilidade do edifício e de seus sistemas é um requisito econômico do usuário, pois está diretamente associado ao custo global do imóvel. A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de atender às funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional. O período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender aos requisitos do usuário preestabelecidos é denominado vida útil (NBR 15575-1, ABNT 2013, p. 31).

Tratando-se de revestimento de fachadas, pode-se considerar que o seu estado limite de durabilidade ocorre quando há perda de aderência que se manifesta, por exemplo, através de destacamentos. Porém, antes de chegarem a este estado as fachadas apresentam um padrão

de degradação que pode ser considerado bem definido ao longo do tempo. Primeiramente se manifestam manchas de sujidade de pouca gravidade, após há aumento e agravamento destas áreas afetadas, manifestam-se fissurações, ocorrem sobreposições de anomalias, e assim, até ocasionar, por fim, a perda de aderência do revestimento (GASPAR; BRITO, 2010).

As construções ao longo de sua vida útil são afetadas por diversos fatores em função do acontecimento de diversos fenômenos patológicos, seu desempenho decresce até alcançar um nível mínimo aceitável. A NBR 15575-1 (ABNT, 2008) apresenta a relação entre desempenho e o tempo de vida de edifícios, como demonstrado na Figura 24. Conforme explica Melo Júnior (2010), a vida útil de projeto norteia a produção de elementos e sistemas construtivos, além da previsão do desempenho contemplando as ações interventivas de manutenção. A vida útil residual ocorre após a vida útil de projeto, sendo que os elementos e sistemas apresentam, neste período, decréscimo contínuo de desempenho em função do uso ou envelhecimento natural, porém não afetam a segurança dos usuários. E a vida total corresponde à vida útil do projeto, mais a vida útil residual, mais a sobrevida, em que a última abrange os níveis de segurança.

Figura 24 – Desempenho ao longo do tempo

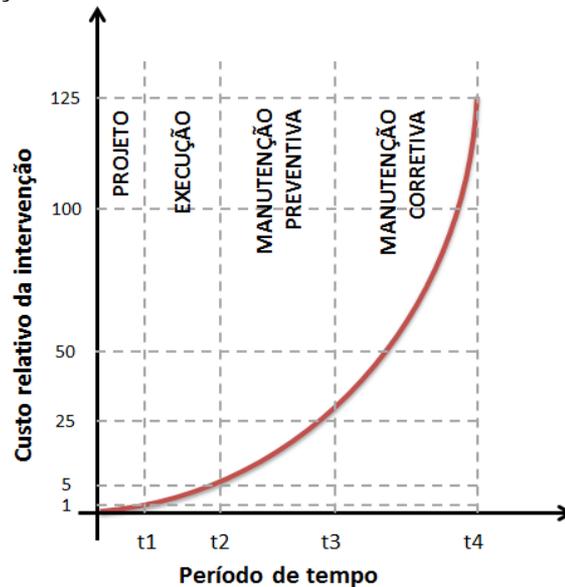


Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2008) *apud* Melo Júnior (2010)

Como demonstrado, as edificações perdem seu desempenho e, conseqüentemente, durabilidade ao longo do tempo, evidenciando a necessidade de intervenções a partir da fase de projeto, pois assim ocorrerá ganho econômico quando forem consideradas medidas para o

prolongamento de sua vida útil. Este fato é explicado a partir da Lei de evolução de custos de Sitter conforme exposto por Silva (2007), e ilustrado na Figura 25.

Figura 25 – Lei de evolução de custos ou Lei de Sitter



Fonte: Adaptado de Sitter (1984) *apud* Silva (2007)

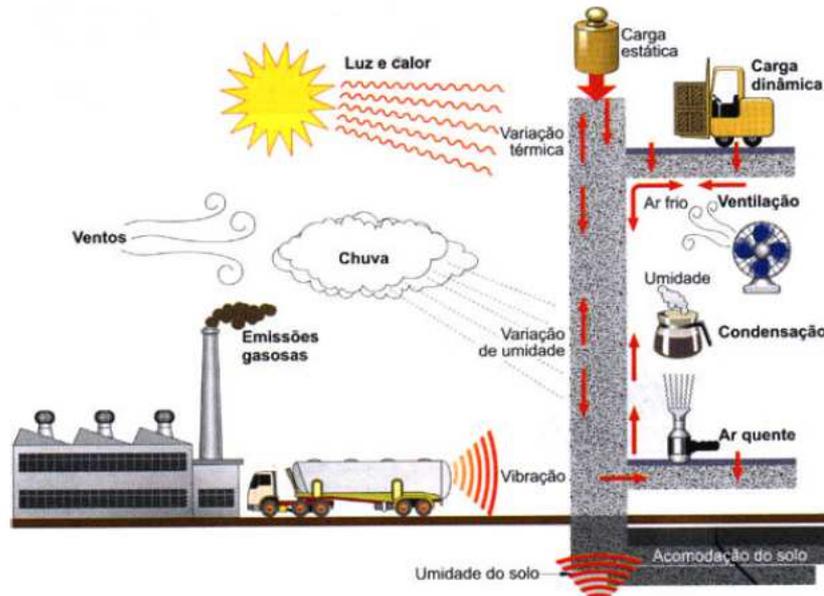
Assim sendo, Chaves (2009) comenta que o grau de degradação atingido por uma fachada irá determinar qual a operação de manutenção que trará maiores benefícios, podendo intervir de forma mais intensa quando surgir os primeiros sinais de degradação, ou a partir de intervenções localizadas repetidas ao longo do tempo. Confirmando os fatos, as manifestações patológicas que surgem nas fachadas são provenientes de deficiências de projeto em relação a soluções construtivas, restrições econômicas e ainda emprego de mão de obra deficiente.

A manutenção com definição da NBR 15575-1 (ABNT, 2013, p. 8) é o “conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e seus sistemas constituintes, a fim de atender às necessidades e de segurança dos seus usuários”. Para Taguchi (2010), a prática de manutenção preventiva em uma construção é capaz de reduzir os custos de ações corretivas, porém, são custos que geralmente poderiam ter sido evitados. Não deve ser realizada de forma improvisada ou informal, e sim se exige planejamento e compreensão como um serviço técnico, executada por mão de obra especializada. O autor salienta ainda que a manutenção adequada, ou seja, a manutenção preventiva traz benefícios aos usuários, pois provoca aumento da vida útil da edificação.

A edificação está exposta a solicitações tanto no ambiente externo (desprotegido) quanto no ambiente interno (protegido). Os agentes agressivos que afetam a habitabilidade de

um edifício estão ilustrados na Figura 26, que são identificados pela ação do vento, da chuva, variação térmica e de umidade, luz e calor, por emissões gasosas, vibração e forças de impacto (SELMO, 1989 *apud* RESENDE, 2004).

Figura 26 – Agentes de degradação dos revestimentos das vedações verticais



Fonte: Selmo (1989) *apud* Resende (2004)

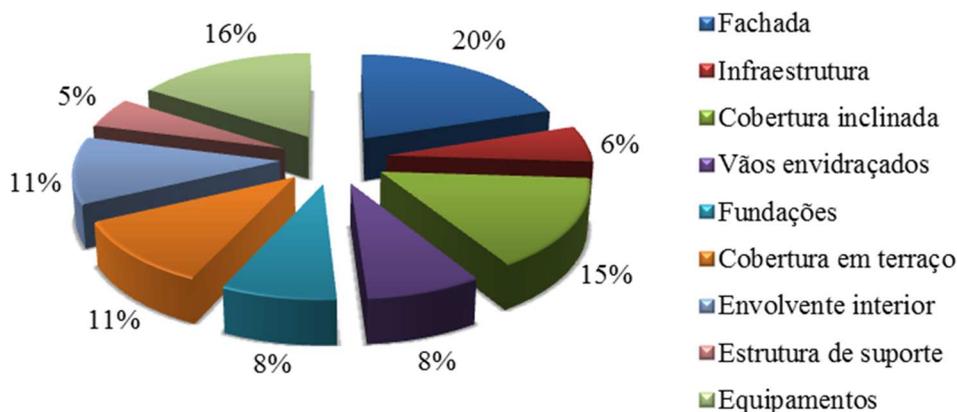
Para Serafim (2012), as ações mecânicas e da água são os principais agentes de degradação de um revestimento em serviço, deste modo, salienta que se deve conhecer certas características de desempenho em serviço ligadas à ação da água, como: temperatura superficial, umidade superficial, umidade relativa do ar e temperatura ambiente, porosidade, permeabilidade à água líquida, coeficiente de capilaridade, índice de secagem, presença de sais solúveis e permeabilidade ao vapor de água.

A estanqueidade à água é um dos principais parâmetros de durabilidade de fachadas, deste modo, a NBR 15575-4 – Edificações habitacionais – Desempenho - Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE (ABNT, 2013), aborda que os sistemas de vedações verticais externas (fachadas) devem ser estanques à água advinda da incidência de chuvas ou de outras fontes. Não devem apresentar infiltrações que proporcionem borrifamentos, escorrimentos, ou formação de gotas de água aderentes na face interna da fachada.

A partir de um estudo realizado por Sousa (2004), visualiza-se na Figura 27 a distribuição das anomalias em elementos construtivos que envolvem o exterior e interior de

um edifício. Observa-se que a fachada é o local responsável pela maior incidência de manifestações patológicas, perfazendo um total de 20%.

Figura 27 – Distribuição das anomalias em elementos construtivos de edifícios



Fonte: Adaptado de Sousa (2004)

Conforme Vicente (2002), a presença de água nas fachadas é aceitável, mas a partir de um determinado nível passa a ser completamente prejudicial aos seus componentes, atingindo também desta maneira a durabilidade da edificação. Pelo motivo de as fachadas estarem em contato direto com os agentes agressivos como a chuva, vento, variações de temperatura, etc., degradam-se mais rapidamente que outros elementos da edificação, e por esse motivo, precisam de intervenções de manutenção em maior número ao longo de sua vida útil.

2.7 REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

A argamassa é definida pela NBR 13281 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos (ABNT, 2005, p.2) como: “mistura homogênea de agregados(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada)”.

Os revestimentos de argamassa possuem funções estabelecidas a serem cumpridas, caso contrário, podem ocasionar manifestações patológicas que diminuem seu desempenho e, por conseguinte, atingem sua vida útil antes do previsto. Deste modo, sua funcionalidade pode ser influenciada pelos materiais que a compõe, devendo-se, em conjunto, atingir propriedades mínimas de desempenho tanto no estado endurecido quanto no estado fresco, possibilitando o seu emprego com resultados satisfatórios.

2.7.1 Funções da argamassa

A argamassa não pode ser considerada somente como um revestimento aplicado para regularizar superfícies e proporcionar acabamento estético ao edifício, deve-se levar em conta, sobretudo, os fatores relacionados com sua qualidade e durabilidade (GUTERRES, 2009). Quando se submete à ação de agentes agressivos, é indispensável o cumprimento de funções que garantam os padrões de qualidade. Dentre as principais funções de um revestimento de argamassa, podem-se destacar: protege a alvenaria e a estrutura contra a ação de intempéries (para revestimentos externos), integrar o sistema de vedação das construções fornecendo isolamento térmico (30%), isolamento acústico (50%), estanqueidade à água (70 a 100%), segurança ao fogo e resistência ao desgaste de abalos superficiais, e também, regularizar a superfície dos elementos de vedação e servir como base para acabamentos decorativos (CARASEK *et al.*, 2011).

Mesmo estando em contato com fenômenos que causam mecanismos de degradação, o revestimento de argamassa não perde a sua total funcionalidade quando apresentar alguma anomalia. Haverá perda parcial de seu desempenho e de um ou mais requisitos de sua função (GASPAR; BRITO, 2010).

2.7.2 Constituição da argamassa

As argamassas de revestimento são constituídas basicamente por aglomerantes (cimento e cal), areia e água, podendo também, conter aditivos e adições que possuem finalidade de plastificar a massa ou melhorar outras características e propriedades específicas (CARASEK *et al.*, 2001). Segundo Ferreira (2010), além das argamassas tradicionais dosadas em obra, há as argamassas industrializadas que possuem em sua composição os aditivos e adições, que surgiram no mercado da construção civil com o intuito de simplificar e organizar o canteiro de obra, garantir a qualidade e a mesma proporção dos materiais constituintes.

2.7.2.1 Aglomerante

O aglomerante é um material finamente moído, que endurece quando entra em contato com a água, e proporciona a ligação entre os grãos (COSTA, 2008). Em argamassas, são representados pelo cimento e pela cal.

O cimento é produzido através da moagem do clínquer, que é uma mistura heterogênea de diversos compostos produzidos por reações em alta temperatura, com pequena quantidade de sulfato de cálcio. É composto por pequenas partículas angulares que variam as dimensões de 1 a 50 μm (MEHTA; MONTEIRO, 2008). Quanto mais fino for o cimento, maior será a resistência de aderência da argamassa, porém, pode causar retração plástica ocasionando a formação de fissuras e permitindo a entrada de água (CARASEK *et al.*, 2001; CARASEK, 2007).

Existem vários tipos de cimento no mercado, os quais são classificados de acordo com as adições que o compõe. Identifica-se como cimento Portland e classifica-se em: cimento Portland comum (CP I), cimento Portland composto (CP II), cimento Portland de alto forno (CP III), cimento Portland pozolânico (CP IV) e cimento Portland de alta resistência inicial (CP V). De acordo com Carasek (2007), a sua produção possui bom controle de qualidade, tornando-o pouco responsável pelas manifestações patológicas.

A cal, segundo a NBR 11172 – Aglomerantes de origem mineral (ABNT, 1990, p.3), é um “aglomerante cujo constituinte principal é o óxido de cálcio ou óxido de cálcio em presença natural com o óxido de magnésio, hidratados ou não”. Pela sua finura, possui importantes propriedades plastificantes e de retenção de água, preenchendo com mais facilidade e completa a superfície do substrato, proporcionando maior extensão de aderência. A durabilidade da aderência é proporcionada pela habilidade da cal em evitar fissuras e preencher os vazios (CARASEK *et al.*, 2001). Atualmente, a principal propriedade da cal em argamassas é fornecer plasticidade que facilita a trabalhabilidade durante o seu manuseio e aplicação (SILVA, 2007).

2.7.2.2 Agregado

O agregado miúdo, representado pela areia, é o constituinte de argamassas que é definido pela NBR 7211 – Agregados para concreto (ABNT, 2005, p.3) como o “agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μm ”.

A capacidade de aderência de uma argamassa está relacionada com os teores e características da areia utilizada, pois, aumentando o teor de areia, há redução na resistência de aderência. Entretanto, a areia, por se constituir no esqueleto indeformável da massa, garante a durabilidade de aderência pela redução da retração (CARASEK *et al.*, 2001).

Os agregados que compõem os revestimentos de argamassa devem ser resistentes, duráveis e sem ação prejudicial sobre o aglomerante que o envolve. Seus grãos devem ser limpos e sem nenhum elemento químico ou físico que possa prejudicar as reações químicas durante a secagem e atrapalhar a aderência dos grãos com a pasta formada pelo aglomerante (SILVA, 2007). Representam cerca de 60 a 80% do consumo dos constituintes da argamassa, assim sendo, devem ser escolhidos com cautela, pois influenciam nos resultados de seu comportamento no estado fresco e endurecido. Normalmente, é constituído por quartzo e extraído de leitos de rios e “cava”. Não se deve ser escolhido apenas em função do custo e do acabamento, pois podem desencadear uma fonte de manifestações patológicas (CARASEK, 2007).

2.7.2.3 *Água de amassamento*

A água possui funções primordiais na argamassa, pois além de permitir que a mistura seja trabalhável, combina-se quimicamente com os aglomerantes e possibilita o endurecimento e a resistência da argamassa (CARASEK *et al.*, 2001). Porém, a água de amassamento deve ser potável e não pode conter substâncias perigosas em quantidades consideráveis, pois afeta diretamente as propriedades da argamassa (COSTA, 2008).

Em uma dosagem, é necessário definir a quantidade correta de água a ser utilizada no amassamento, pois influencia na aplicação e na qualidade final do revestimento. Depende de muitos fatores, como o tipo de ligante, o traço da mistura, entre outros. Uma maneira de controlar esta quantidade é a partir da consistência da mistura, originando uma argamassa com menor ou maior fluidez, devendo-se utilizar quantidade mínima de água necessária que garanta consistência suficiente para que a argamassa possa ser devidamente aplicada (AGOSTINHO, 2008).

2.7.2.4 *Adições e aditivos*

Conforme a NBR 13259 – Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas (ABNT, 1995, p.4), as adições são “materiais inorgânicos naturais ou industriais finamente divididos, adicionados às argamassas para modificar as suas propriedades e cuja quantidade é levada em consideração no proporcionamento”. Podem ser materiais pozolânicos, pó calcário, saibro, filito cerâmico, entre outros.

Os aditivos, a mesma norma NBR 13259 (ABNT, 1995, p.5) define como o “produto adicionado à argamassa em pequena quantidade, com a finalidade de melhorar uma ou mais propriedades, no estado fresco ou endurecido”. Pode ser aditivo hidrofugante, incorporador de ar, redutor de permeabilidade e retentor de água.

2.7.3 Propriedades da argamassa no estado fresco e endurecido

Para que os revestimentos de argamassa possam cumprir com as suas funções, é necessário que apresentem propriedades específicas, tanto em seu estado fresco quanto em seu estado endurecido. Bianchin (1999) profere que tais propriedades dependem das características dos aglomerantes, do agregado, dos aditivos utilizados, da proporção dos materiais, da quantidade de água de amassamento e do tipo de mistura dos componentes.

As propriedades no estado fresco, quando a argamassa ainda se encontra plástica, devem permitir a aplicação da argamassa sobre a base com facilidade, boa aderência inicial e adequado processo de endurecimento (MACIEL, 1997). Tais propriedades podem ser identificadas pela: trabalhabilidade, consistência, plasticidade, retenção de água, teor de ar incorporado, adesão inicial, massa específica aparente e exsudação. O Quadro 4 apresenta as propriedades do estado fresco da argamassa, bem como sua descrição.

Quadro 4 – Propriedades do estado fresco da argamassa

PROPRIEDADE	DESCRIÇÃO
<i>Trabalhabilidade</i>	Facilidade com que a argamassa pode ser misturada, transportada, aplicada, consolidada e acabada, em uma condição homogênea.
<i>Consistência</i>	Está ligada à maior ou menor fluidez da argamassa, associada à capacidade de se deformar sob a ação das cargas.
<i>Plasticidade</i>	Característica que torna a argamassa deslizante e de fácil espalhamento, sem separação da água ou segregação do material sólido da mistura.
<i>Retenção de água</i>	Capacidade da argamassa em manter sua consistência ou trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento.
<i>Teor de ar incorporado</i>	Quantidade de ar existente em determinado volume de argamassa. Com aumento do teor de ar incorporado, a massa específica diminui e a argamassa se torna mais trabalhável.
<i>Adesão inicial</i>	Aderência da argamassa no estado fresco. Sofre influência pela ancoragem mecânica da argamassa, da pasta nos poros e das irregularidades da superfície.
<i>Massa específica aparente</i>	Relação entre a massa do material e o volume incluindo os vazios a uma temperatura estabelecida.
<i>Exsudação</i>	Separação de parte da água de amassamento de uma argamassa fresca mantida em repouso sem vibrações ou choques.

Fonte: Adaptado de Bianchin (1999); Cincotto *et al.* (1995); Cincotto e Bolorino (1997); Guimarães (2002); Rilem (1982); Silva (2007)

No estado endurecido, Maciel (1997) comenta que as propriedades da argamassa devem restringir a formação de fissuras no revestimento, manter sua aderência à base, absorver pequenas deformações, resistir às ações externas e ainda, proporcionar a durabilidade do revestimento. As propriedades que fazem parte do estado endurecido da argamassa são: resistência mecânica, capacidade de absorver deformações, aderência, permeabilidade, retração, resistência aos sais, condutividade térmica e resistência ao fogo. Estas propriedades são apresentadas e descritas no Quadro 5.

Quadro 5 – Propriedades do estado endurecido da argamassa

PROPRIEDADE	DESCRIÇÃO
<i>Resistência mecânica</i>	Capacidade que a argamassa possui de resistir a esforços mecânicos de tração, compressão e cisalhamento, devido a esforços gerados por tensões nas superfícies verticais decorrentes do uso e tipo da edificação e das solicitações produzidas por fenômenos térmicos e climáticos.
<i>Capacidade de absorver deformações</i>	Capacidade da argamassa em se deformar quando submetida a solicitações sem que ocorra ruptura, retornando às suas dimensões originais quando o esforço for cessado.
<i>Aderência</i>	Capacidade que a argamassa possui de resistir a tensões normais ou tangenciais na interface base/revestimento.
<i>Permeabilidade</i>	Passagem de água através da argamassa causada por infiltração sob pressão, por capilaridade, por difusão de vapor d'água.
<i>Retração</i>	Quando a argamassa é exposta a um ambiente com baixa umidade relativa, perde água para o ambiente e se contrai, devido à tendência de aproximação das paredes dos poros capilares quando da saída da água, com consequente contração volumétrica da argamassa.
<i>Resistência aos sais</i>	Capacidade da argamassa em resistir ao ataque de sulfatos, e estar ligada a sua composição, natureza dos materiais, resistência ao desgaste superficial e à permeabilidade.
<i>Condutividade térmica</i>	Capacidade de condução térmica pela argamassa, depende da densidade do material.
<i>Resistência ao fogo</i>	Capacidade da argamassa em resistir a ação do fogo durante certo período mantendo sua estabilidade

Fonte: Adaptado de Bianchin (1999); Cincotto *et al.* (1995)

Além dessas propriedades, a permeabilidade contribui também para a estimativa de outras propriedades e características da argamassa, como porosidade, empacotamento de partículas, umidade dos poros, resistência mecânica, fissuração, entre outras. Nas argamassas, os diferentes elementos utilizados em sua constituição, bem como o tipo de cura realizada, aliados aos fenômenos de degradação, entupimento dos poros superficiais, formas de

acabamento superficial, podem causar variabilidade em seus parâmetros de permeabilidade, em função da mudança de seus vazios capilares (SENTONE, 2011).

2.7.4 Principais tipos de revestimentos de argamassa

Há diversos tipos de revestimentos de argamassa, dividindo-se conforme sua função de aplicação. Serão descritos neste trabalho somente aqueles que foram utilizados na pesquisa, sendo eles: argamassa de revestimento e argamassa colante.

2.7.4.1 Argamassa de revestimento

A argamassa de revestimento é responsável por revestir tetos e/ou paredes, e de acordo com a NBR 13749 – Revestimentos de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Especificação (ABNT, 2013), este tipo de argamassa pode ser constituída por chapisco e emboço, ser utilizada como revestimento de camada única, ou ainda ser constituída por chapisco, emboço e reboco. Costa (2008) relata que a argamassa de revestimento varia bastante tanto em resistência quanto em porosidade, optando-se preferencialmente por aquelas com capacidade de absorver e liberar o vapor de água. São constituídas de areia, cimento, cal e com ou sem adições e aditivos.

Devem satisfazer diversas condições, como: ser compatível com o acabamento decorativo a ser utilizado, possuir resistência mecânica uniforme, ser constituída por uma ou mais camadas superpostas de argamassa contínua e uniforme, possuir propriedade hidrofugante e impermeabilizante em revestimentos externos, e resistir à ação de variações normais de temperatura e umidade. Ainda, devem apresentar textura uniforme e sem imperfeições (cavidades, fissuras, manchas, eflorescências) (NBR 13749, ABNT 2013).

O chapisco é uma “camada de preparo da base, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento” (NBR 13529, ABNT 1995, p.2). É uma mistura de cimento e areia (média ou grossa), podendo-se utilizar aditivos com a finalidade de aumentar seu poder de aderência à base, e empregada normalmente no traço 1:3 (cimento:areia).

Já o emboço é uma “camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base ou chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final” (NBR

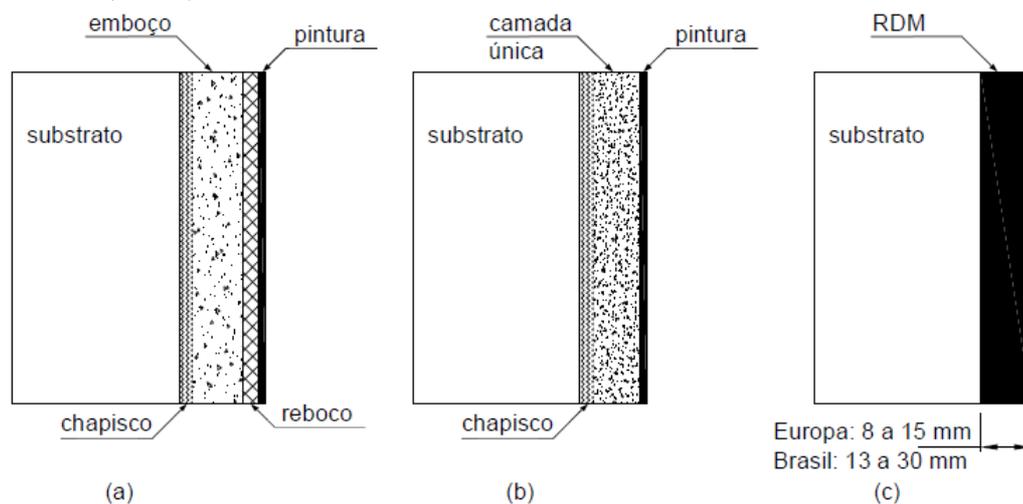
13529, ABNT 1995, p.2). Conforme Carasek (2007), a baixa retração, baixa permeabilidade à água, resistência mecânica, capacidade de absorver deformações, e possuir boa trabalhabilidade, são os principais requisitos do emboço. Apresenta variados traços, podendo ser 1:2:8 (cimento:cal:areia) ou 1:4 (cimento:areia), por exemplo.

E o reboco é uma “camada de revestimento utilizada para cobertura do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final” (NBR 13529, ABNT 1995, p.2). O reboco deve apresentar os mesmos requisitos do emboço, e o traço utilizado para sua execução também é variável, depende da finalidade de que se aplica, podendo ser, por exemplo, 1:1:6 (cimento:cal:areia).

Em se tratando de revestimento de paredes, Carasek (2007) apresenta também, a camada única e o revestimento decorativo monocamada. O primeiro tipo é aplicado como revestimento único sobre a camada de chapisco, recebendo camada decorativa de pintura. E o segundo é aplicado em uma única camada, com propriedade de aderência à base, e com pigmentos que lhe conferem o acabamento decorativo.

Estas camadas de revestimentos de argamassa estão ilustradas na Figura 28, os quais são os mais empregados:

Figura 28 – Camadas de revestimento de argamassa mais empregados: (a) chapisco + emboço + reboco + pintura; (b) chapisco + camada única + pintura; (c) revestimento decorativo monocamada (RDM)



Fonte: Carasek (2007)

A espessura total admissível da argamassa de revestimento conforme a NBR 13749 (ABNT, 2013) é apresentada na Figura 29. Superior a estes valores deve ser empregada

técnica que garanta a aderência do revestimento, como a utilização de telas soldadas entre as camadas.

Figura 29 – Espessuras admissíveis de revestimentos argamassados

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos interno e externo	$e \leq 20$

Fonte: Adaptado de NBR 13749 (ABNT, 2013)

2.7.4.2 Argamassa colante

A argamassa colante, por definição da NBR 14081-1 – Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas – Requisitos (ABNT, 2004, p.3), é um “produto industrial, no estado seco, composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos, que, quando misturado com água, forma uma massa viscosa, plástica e aderente, empregada no assentamento de placas cerâmicas para revestimento”.

Sua principal função é “colar” a peça cerâmica ao substrato e absorver as deformações naturais em que o revestimento cerâmico estiver exposto. Deve apresentar boa trabalhabilidade, com atenção para a retenção de água, tempo em aberto, deslizamento e adesão inicial, boa aderência e capacidade de absorver deformações (CARASEK, 2007).

Este tipo de argamassa é encontrado no mercado em sacos e diversos tipos, que são distinguidos pela capacidade de resistência a que serão inseridos e local de aplicação (NBR 14081-1, ABNT 2004):

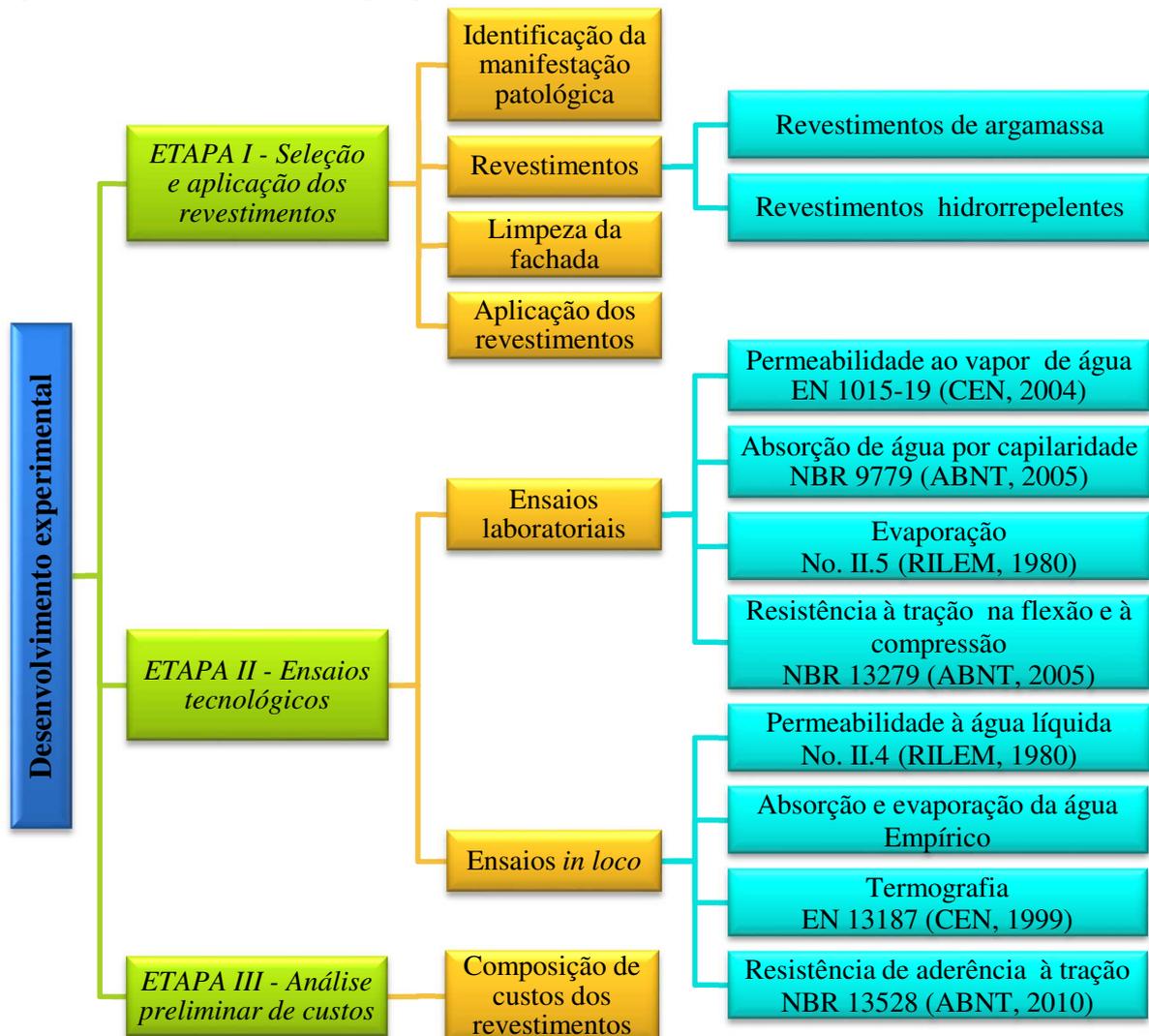
- a) Argamassa colante AC I: possui característica de resistência às solicitações mecânicas e termoigrométricas, aplicada normalmente em ambientes internos;
- b) Argamassa colante AC II: possui característica de adesividade que possibilita absorver os esforços existentes em revestimentos de pisos e paredes que estão sujeitos à variação termoigrométrica e ação do vento. Podem ser utilizadas em locais internos ou externos da edificação;
- c) Argamassa colante AC III: apresenta aderência superior às argamassas do tipo AC I e AC II. Utilizada para locais externos e muito indicada para assentamento de placas cerâmicas em piscinas, saunas e locais similares;

- d) Argamassa colante AC E: é uma argamassa colante do tipo AC I, AC II e AC III, porém, apresenta maior tempo em aberto;
- e) Argamassa piso sobre piso: utilizada para sobrepor revestimentos cerâmicos já existentes.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O presente trabalho é um estudo de caso e busca investigar a recuperação de fachadas expostas à ação da umidade proveniente de precipitação, a partir da utilização de revestimentos disponíveis no mercado da construção civil. Esta investigação se efetivou com a aplicação dos revestimentos em uma parede de fachada com orientação solar sul existente e degradada pela umidade. Diante disso, o desenvolvimento experimental da pesquisa foi delineado em três etapas: a primeira se constitui pela seleção e aplicação dos revestimentos, a segunda pelos ensaios tecnológicos e a terceira etapa abrange a análise de custos. O detalhamento destas etapas está demonstrado na Figura 30.

Figura 30 – Delineamento da pesquisa



Para o desenvolvimento inicial da pesquisa, foi necessário identificar qual o principal agente responsável pela manifestação patológica na fachada em estudo, bem como o tipo de anomalia existente, para que fosse possível, em seguida, realizar a escolha dos revestimentos utilizados com o intuito de recuperação desta fachada, sendo posteriormente realizada a sua limpeza e aplicação dos revestimentos. Estes são os níveis correspondentes da Etapa I.

Os ensaios tecnológicos compreendem a Etapa II e são divididos em dois níveis. O primeiro abrange os ensaios laboratoriais de permeabilidade ao vapor da água, absorção da água por capilaridade, evaporação e resistência à tração na flexão e à compressão. O segundo nível é composto pela apresentação dos ensaios realizados *in loco* de permeabilidade à água líquida, absorção e evaporação da água, termografia e resistência de tração à aderência.

Após a seleção e aplicação dos revestimentos, foi possível realizar a composição de custos, envolvendo as variáveis de materiais e mão de obra para cada tipo de revestimento estudado. Esta composição de custos pertence à Etapa III, aliada aos resultados dos ensaios tecnológicos, permitiu apresentar quais os revestimentos que melhor se sobressaem no requisito de custo/benefício.

3.1 ETAPA I – SELEÇÃO E APLICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

A pesquisa desenvolvida, identificada como um estudo de caso, utilizou uma parede de fachada com orientação solar sul localizada em um edifício residencial na cidade de Santa Maria/RS, a qual se encontrava em estado de degradação pela ação da umidade. A Figura 31 indica a localização da fachada em estudo.

Figura 31 – Localização da fachada em estudo



Na determinação de quais os tipos de tratamentos que seriam utilizados para análise de recuperação desta fachada, foi necessário, inicialmente, determinar os fatores causadores da degradação e quais os tipos de anomalias existentes, podendo, em seguida, realizar-se pesquisa de campo a partir de levantamento e seleção de revestimentos disponíveis no mercado da construção civil. Antes da aplicação dos revestimentos, foi necessário realizar a limpeza da fachada para remover as anomalias existentes. As formas pelas quais se realizaram estes processos estão detalhadas na sequência.

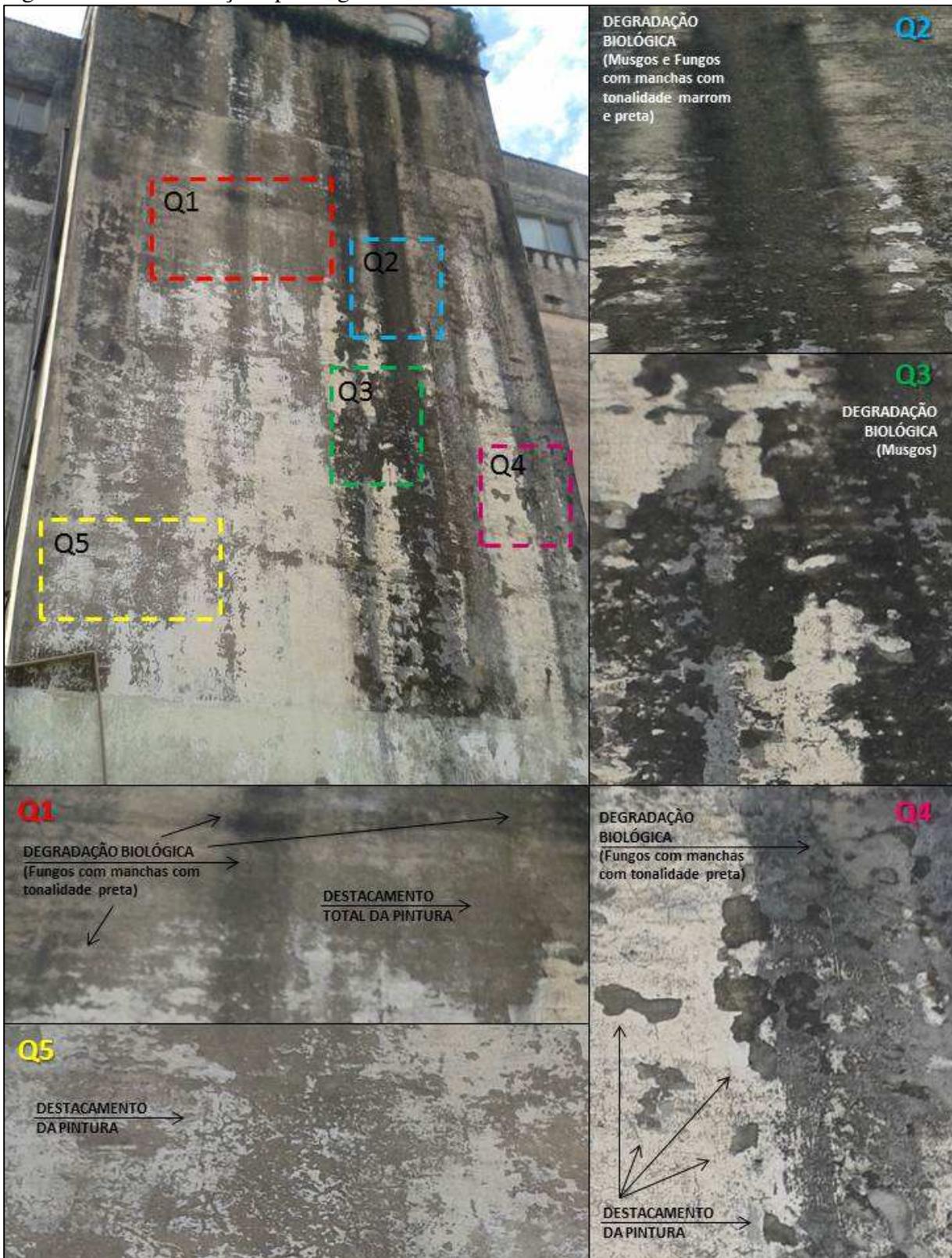
3.1.1 Identificação das manifestações patológicas

Para se realizar a identificação das manifestações patológicas, procedeu-se à avaliação de suas causas, seu diagnóstico e, logo após, à definição da conduta a ser seguida. Deste modo, iniciou-se pelo levantamento dos subsídios, conhecendo os materiais que foram empregados e a técnica construtiva. Isto foi realizado por meio de vistoria do local e anamnese.

A fachada em estudo se localiza em um edifício com predominância de uso residencial, e conforme dados coletados com o auxílio do proprietário, a edificação foi construída em torno do ano de 1970. O revestimento de argamassa existente da fachada foi executado nesta mesma época juntamente à construção da edificação, diretamente sobre o tijolo em uma única camada, sem o emprego de chapisco. Há indícios de que seus materiais constituintes sejam cimento, cal e areia. Sobre a camada do revestimento de argamassa, observou-se a aplicação de diversas camadas de tintas, principalmente na área inferior da fachada, aplicadas no decorrer dos anos.

As anomalias se distribuem ao longo de toda a fachada, sendo representadas por degradação biológica e destacamento da pintura, que podem ser observados na Figura 32. A degradação biológica se manifesta por meio da presença de musgos e fungos de tonalidade escura (variando entre marrom e preto). Por ser uma manifestação patológica que surgiu há muito tempo, observa-se que, primeiramente, ocorreu a manifestação patológica de sujidades, pois há aspectos de escorrimento, proporcionando o surgimento de degradação biológica combinado pela constante presença de água e variação de temperatura e umidade relativa do ar. Já os destacamentos da pintura são provocados pela perda de aderência entre a tinta e o substrato, a qual pode ter sido ocasionada pela presença da degradação biológica que acarretou a diminuição de resistência superficial, e ainda pela própria idade desta camada de revestimento.

Figura 32 – Manifestações patológicas existentes na fachada



De acordo com relato do proprietário, as manifestações patológicas começaram a surgir há muitos anos, sem precisão de quanto tempo, e vêm se agravando ao longo do

período. Por se tratar de uma fachada com orientação sul, não há a incidência solar em nenhum período do dia, dificultando a retirada de umidade em excesso provocada pela ação da precipitação que incide sobre a superfície. A umidade de condensação da água na fachada provocada pelos altos valores de umidade relativa do ar e diferenças de temperatura também facilitou o surgimento das manifestações patológicas ao longo do tempo.

Portanto, dá-se o diagnóstico da situação determinando que os principais agentes causadores das manifestações patológicas ocorreram pela umidade proveniente de precipitação, da condensação e pela falta de manutenção periódica no decorrer dos anos. Deste modo, é possível seguir para a definição da conduta, indicando qual a técnica de recuperação a ser adotada. A partir da escolha dos revestimentos que foram utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa, determinaram-se as alternativas de intervenção, e o estudo do comportamento de cada revestimento por meio dos ensaios tecnológicos permitiu o relato de quais revestimentos melhor se enquadram na decisão da terapia, a fim de encontrar a resolução do problema.

3.1.2 Revestimentos

Após constatação de que as manifestações patológicas da fachada em estudo se originaram da presença de umidade proveniente de precipitação, condensação e principalmente pela ausência de pintura em grande parte da fachada, buscaram-se produtos disponíveis no mercado da construção civil que permitam a proteção dos paramentos externos deste tipo de agressão. Além de pesquisa de mercado, realizou-se a investigação de emprego de práticas utilizadas por construtores que visem à recuperação de fachada. Inicialmente, procedeu-se ao levantamento dos produtos, entre os quais se selecionaram aqueles que mais são empregados, ou ainda aqueles que estão surgindo com a proposta de impermeabilização e/ou recuperação de fachadas expostas à ação da umidade da chuva. Todos foram adquiridos na região da cidade de Santa Maria/RS.

Estes produtos podem ser divididos essencialmente em dois grandes grupos: revestimentos de argamassa e revestimentos hidrorrepelentes. Podem-se caracterizar como revestimentos utilizados como recuperação profunda, em que há a remoção de todo revestimento degradado, ou ainda como revestimento de recuperação superficial, em que não ocorre a remoção do revestimento degradado, utilizando apenas técnica de limpeza com intuito de retirar somente a anomalia. Ao todo foram empregados 12 revestimentos. Entre eles, 8 são revestimentos de argamassa e 4 são revestimentos hidrorrepelentes.

Verifica-se que as soluções adotadas são: substituição dos elementos e materiais afetados, e proteção contra os agentes agressivos. Ou seja, houve a substituição de todo o revestimento de argamassa existente com recuperação profunda, ou substituição da película de tinta existente se aplicando recuperação superficial, sendo que ambos os métodos irão proteger a fachada contra os agentes agressivos, porém, sem eliminá-los. Ainda, classificam-se em técnicas de recuperação curativas que irão eliminar a anomalia, mas não a causa.

3.1.2.1 Revestimentos de argamassa

Foram utilizados revestimentos de argamassa dos tipos tradicionais dosados em obra e industrializados, classificados de acordo com a NBR 9575 (ABNT, 2010) como materiais cimentícios para impermeabilização, os quais estão descritos no Quadro 6. Salienta-se que a sua composição, características e utilização são descritas com base nos catálogos técnicos do fabricante. Dentre estes revestimentos, foi selecionada uma argamassa sem componente impermeabilizante (AP-IND-RM), para servir de referência na avaliação dos demais revestimentos, tanto de argamassa quanto de hidrorrepelentes.

Quadro 6 – Discriminação dos revestimentos de argamassa

(continua)

NOMENCLATURA ADOTADA	TIPO	COMPOSIÇÃO	CARACTERÍSTICAS	UTILIZAÇÃO	TIPO DE RECUPERAÇÃO
AS-PSP	Argamassa industrializada: colante Piso sobrepiso.	Cimento Portland, agregados minerais selecionados e aditivos químicos.	Argamassa leve de excelente trabalhabilidade, ideal para assentamento de revestimentos cerâmicos, porcelanatos, pedras rústicas em áreas internas e externas em pisos e paredes; Aplicação de sobreposição de revestimentos cerâmicos antigos.	Assentamento de revestimento, contrapiso, gesso acartonado interno, e sobreposição de revestimentos cerâmicos antigos em áreas internas e externas, pisos e paredes.	Superficial
AS-ACIII	Argamassa industrializada: colante AC III.	Cimento, areia quartzosa, aditivos especiais e polímeros.	Argamassa colante de uso interno ou externo de alta adesividade e flexibilidade, ideal para fachadas, cerâmicas em concreto, cerâmicas em piscinas aquecidas ou não e saunas, piso de tráfego intenso.	Paredes internas, piso internos e externos, inclusive em áreas de tráfego intenso em cerâmicas até 80 x 80 cm; Revestimentos com até 20 x 20 cm em fachadas; Piscinas residenciais ou comerciais, aquecidas até 70°C; Porcelanatos até 60 x 60 cm em áreas internas; e pastilhas de porcelana.	Superficial

Quadro 6 – Discriminação dos revestimentos de argamassa

(conclusão)

AS-PB	Argamassa industrializada: polimérica bicomponente.	<i>Pó:</i> Resina melamina-formaldeído, resina melamina-formaldeído condensada, cimento, agregados minerais e aditivos especiais. <i>Líquido:</i> Copolímero compatível com cimento.	Revestimento modificado com polímeros, impermeável e de alta aderência.	Indicado para revestir, vedar, eliminar vazamentos e umidade em: reservatórios e caixa d'água potável, piscinas, poços de elevadores, paredes internas e externas, rodapés, áreas frias, subsolos e fundações.	Superficial
AP-IND-RM	Argamassa industrializada: revestimento.	Cal hidratada CH-II, cimento Portland CPII-Z-32, areia calcária e classificada e filler mineral.	Argamassa de reboco médio.	Rebocos em camada única de até 20 mm de espessura.	Profunda
AP-DO-L	Argamassa tradicional dosada em obra: revestimento.	Cimento, areia média e aditivo líquido composto de silicatos.	Aditivo de altíssima capacidade de redução da permeabilidade de concretos e argamassas por hidrofugação do sistema capilar. Permite a respiração dos materiais, mantendo os ambientes salubres.	Caixas d'água, piscinas, canalizações de água, baldrame; paredes de encosta, assentamentos de alvenaria nos alicerces, argamassas de revestimento em pisos e paredes, e concretos de baixa permeabilidade.	Profunda
AP-DO-P	Argamassa tradicional dosada em obra: revestimento.	Cimento, areia e aditivo em pó composto de cargas minerais e aditivos especiais.	Aditivo que possui propriedade hidrorrepelente, com alto poder de aderência, aumentando a resistência. Melhora a trabalhabilidade e elimina as fissuras de retração no reboco. Elimina a utilização da cal nas massas e dispensa o uso de outros aditivos.	Utilizado em massas de reboco, massa de contrapiso e massa de assentamento.	Profunda
AP-IND-I1	Argamassa industrializada: revestimento.	Areia calcária, areia quartzosa, agregados leves, cal hidratada, cimento Portland e aditivos.	Argamassa impermeável para correção ou prevenção de proteção de paredes e tetos com problemas de umidade.	Argamassa indicada para assentamento, reboco interno, reboco externo e reboco de projeção.	Profunda
AP-IND-I2	Argamassa industrializada: revestimento.	Cimento, agregados minerais, aditivos especiais e aditivos impermeáveis.	Argamassa pronta para impermeabilização e recuperação.	Revestir paredes em áreas internas e externas; Assentamento das primeiras fiadas nas alvenarias de vedação, evitando a umidade vinda do solo; e pequenos reparos e reformas em geral.	Profunda

Observa-se que a maioria dos fabricantes dá uma informação genérica da composição dos produtos, não citando, por exemplo, o tipo de cimento e agregado utilizados e nem especificando os exatos aditivos e adições, mostrando como o consumidor possui poucas informações em relação à composição dos produtos. Já referente à sua utilização, vê-se que grande parte pode ser empregada para mais de um tipo de uso. Cabe ressaltar que a opção de argamassa colante se justifica pelo fato de ela estar sendo utilizada em obras com a intenção

de recuperação de áreas que sofrem com a ação da umidade, possibilitando, neste trabalho, portanto, verificar esta real possibilidade.

3.1.2.2 Revestimentos hidrorrepelentes

Todos os revestimentos hidrorrepelentes são aplicados superficialmente e caracterizam-se como produtos hidrorrepelentes formadores de película, sendo descritos no Quadro 7 conforme as especificações de catálogos técnicos do fabricante.

Quadro 7 – Discriminação dos revestimentos hidrorrepelentes

NOMENCLATURA ADOTADA	TIPO	COMPOSIÇÃO	CARACTERÍSTICAS	UTILIZAÇÃO	TIPO DE RECUPERAÇÃO
HIDRO1	Hidrorrepelente: formador de película.	Água, copolímero acrílico, solventes orgânicos, pigmento inorgânico.	Possui propriedades elásticas e protege a fachada da água da chuva e da ação direta do sol, e impede a penetração da umidade evitando a formação de manchas de bolores ou fungos. Forma uma membrana elástica e impermeável. Ótima barreira aos agentes agressores oriundos da atmosfera. Mantém as propriedades a baixas temperatura e pode ser pigmentado.	Pintura de paredes, muros, fachadas, pilares, cortinas de concreto e tetos.	Superficial
HIDRO2	Hidrorrepelente: formador de película.	Agregados minerais, copolímero acrílico em dispersão aquosa.	Oferece grande aderência e durabilidade, é indicado para impermeabilizar paredes externas sujeitas a batidas de chuva. É flexível e elástico, e pode ser pigmentado.	Aplicado sobre reboco, concreto, fibrocimento e massa acrílica.	Superficial
HIDRO3	Hidrorrepelente: formador de película.	Impermeabilizante à base de água, composto de resinas acrílicas, areia quartzosa.	Impermeabilizante acrílico que protege contra a umidade e desgastes provocados pela ação do tempo ou da maresia. Acompanha o movimento de expansão e retração que ocorre na parede devido às mudanças de temperatura.	Aplicado sobre reboco, tijolos, madeiras, telhas cerâmicas e de fibrocimento, e ainda em reservatórios e piscinas.	Superficial
HIDRO4	Hidrorrepelente: formador de película.	Impermeabilizante à base de água, composto de resinas acrílicas.	Possui grande elasticidade, acompanhando o movimento de dilatação e retração de paredes e lajes, conforme a variação de temperatura. Material de característica cremosa, que penetra dentro das fissuras e rachaduras.	Paredes de alvenaria, internas e externas, terraços, marquises e sacadas, escadarias tornando-as antiderrapantes, e em paredes com fissuras.	Superficial

Todos os revestimentos hidrorrepelentes são produtos acrílicos e possuem água em sua composição, alguns são compostos ainda por agregados, bem como os revestimentos de argamassa, que possuem diversos campos de aplicação.

3.1.3 Limpeza da fachada

Aplicou-se, nesta pesquisa, a técnica de limpeza química por meio da utilização de hipoclorito de sódio 5% para a remoção dos microorganismos presentes na fachada em estudo. O esquema da Figura 33 mostra o processo da limpeza, no qual, primeiramente, a superfície foi lixada com lixa de parede, removendo-se superficialmente os musgos e as manchas; em seguida, com um lava a jato de alta pressão, aplicou-se água, auxiliando na remoção dos musgos e manchas e permitindo o umedecimento da superfície para, após, realizar-se a lavagem com o hipoclorito de sódio 5%. Deixou-se o reagente agindo na superfície durante 15 minutos e efetuou-se o último enxágue para remover os resíduos.

Figura 33 – Processo de limpeza da fachada em estudo

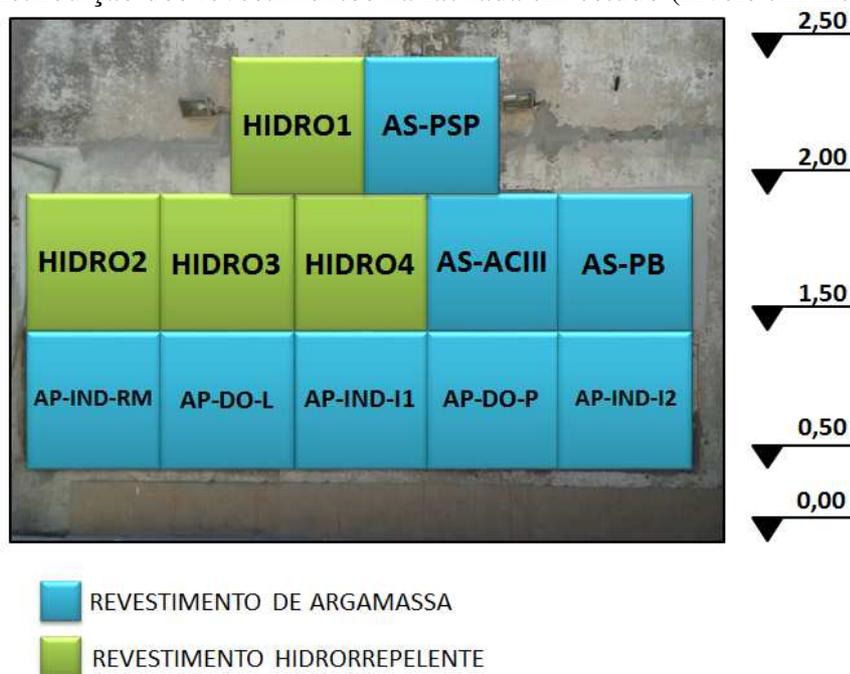


Observa-se que, depois de finalizada a limpeza, as manchas e os musgos foram completamente retirados. Sobre o revestimento de argamassa da fachada, grande parte da pintura continuou aderida, devendo-se retirá-la ou não para a aplicação dos revestimentos superficiais, seguindo as orientações do fabricante.

3.1.4 Aplicação dos revestimentos

Realizada a limpeza da fachada, iniciou-se a aplicação dos revestimentos que ocorreu de acordo as técnicas de aplicação recomendadas pelo fabricante. A Figura 34 demonstra um parâmetro geral da distribuição dos revestimentos na fachada, onde foram aplicados sobre uma área em torno de 1,0 m². A fachada possui uma largura de aproximadamente 5,0 m, portanto, os 12 tipos de revestimentos foram aplicados em três linhas (uma camada com dois revestimentos e duas camadas com cinco revestimentos), em que o nível inicial em relação ao piso é de 0,50 m.

Figura 34 – Distribuição dos revestimentos na fachada em estudo (níveis em metros)



3.1.4.1 Aplicação dos revestimentos de argamassa

Anteriormente à aplicação, foram analisadas as recomendações de aplicação de cada revestimento, as quais estão relatadas no Quadro 8 e identificam-se por: condições climáticas, preparo da base, preparo do produto e aplicação.

Quadro 8 – Recomendações de aplicação dos revestimentos de argamassa

(continua)

REVESTIMENTO	TIPO	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	PREPARO DA BASE	PREPARO DO PRODUTO	APLICAÇÃO
AS-PSP	Argamassa industrializada: colante Piso sobrepiso.	A temperatura da base deve estar entre 4°C e 27°C.	A superfície deve estar íntegra, estável e plana, livre de sujeira, óleo, graxa, tinta, eflorescência, seladores de concreto ou agentes de cura.	Adicionar água limpa em um recipiente limpo e seco de acordo com quantidade impressa na embalagem (3,9l a 4,1 l/20 Kg); Adicionar a água ao conteúdo e misturar até se obter uma massa homogênea; Aguardar 15 min e misturar novamente.	Após o tempo de mistura, aplicar a argamassa na base com o lado liso da desempenadeira.
AS-ACIII	Argamassa industrializada: colante AC III.	Temperatura ambiente de 5°C até 40°C; Temperatura da base de 5°C até 27°C.	A superfície deve estar limpa, sem pó, óleo, tinta e outros resíduos que impeçam a aderência da argamassa colante.	Adicionar água limpa em um recipiente limpo e seco de acordo com quantidade impressa na embalagem (6l/20 Kg); Adicionar a água ao conteúdo e misturar até se obter uma massa homogênea; Aguardar 15 min e misturar novamente.	Após o tempo de mistura, aplicar a argamassa na base com o lado liso da desempenadeira.
AS-PB	Argamassa industrializada: polimérica bicomponente.	A temperatura deve estar em torno de 25°C.	A base deve estar limpa, seca, sem impregnação de produtos que prejudiquem a aderência (graxa, agentes de cura química, óleo, tintas, entre outros). Eventuais trincas devem ser tratadas previamente.	Adicionar o componente A (pó) ao componente B (líquido) e misturá-los, na proporção 1:3 (líquido: pó).	Aplicar 3 a 4 demãos cruzadas com broxa ou trincha com intervalo mínimo de 6 horas entre demãos. Se necessário, umedecer a superfície antes da aplicação.
AP-IND-RM	Argamassa industrializada: revestimento.	Não indicado.	Antes da aplicação do produto, a base (tijolo) deve ser limpa e chapiscada com argamassa no traço 1:3 deixando a base áspera.	Adicionar a quantidade de água conforme a embalagem (4,9l a 5,1l/25 Kg) à mistura, até atingir uma mistura homogênea.	Chapar a argamassa e esperar o tempo suficiente para a argamassa "puxar" para, somente depois, desempenar.
AP-DO-L	Argamassa tradicional dosada em obra: revestimento.	Não indicado.	Antes da aplicação do produto, a base (tijolo) deve ser limpa e chapiscada com argamassa no traço 1:3 com aditivo (resina sintética aderente), deixando a base áspera.	Produzir argamassa no traço 1:4 e utilizar cimento novo e areia média. O produto (aditivo) deve ser misturado antes de ser dissolvido na água (proporção de 1 kg de aditivo para 50 kg de cimento). Adicionar a mistura de aditivo+água ao cimento e areia, e misturá-los até atingir uma massa homogênea.	Após chapiscar a base, aguardar no mínimo três dias para aplicar o revestimento com o aditivo. Aplicar 2 ou 3 camadas de aproximadamente 1 cm de espessura cada. Uma camada poderá ser aplicada sobre a anterior, logo após esta já ter "puxado". Excedendo 6 horas, intercalar um chapisco com aditivo (resina sintética aderente). Desempenar a última camada com desempenadeira.
AP-DO-P	Argamassa tradicional dosada em obra: revestimento.	Não indicado.	Antes da aplicação do produto, a base (tijolo) deve ser limpa e chapiscada com argamassa no traço 1:3 deixando a base áspera.	Produzir argamassa no traço 1:6 e utilizar cimento novo e areia média. O produto (aditivo) deve ser adicionado à mistura de cimento+areia. Adicionar água à mistura de aditivo+cimento+areia conforme desejado e misturá-los até atingir uma massa homogênea.	Sobre a superfície chapiscada, aplicar uma camada do revestimento com aditivo, e aguardar "puxar" para desempenar.

Quadro 8 – Recomendações de aplicação dos revestimentos de argamassa

(conclusão)

AP-IND-I1	Argamassa industrializada: revestimento.	Não indicado.	Aplicar a argamassa direto na base (tijolo) sem chapiscar. Se necessário, molhar a base.	Adicionar água conforme embalagem (3,3 l \pm 5% /20 kg) à mistura até atingir uma massa homogênea.	Aplicar uma camada de argamassa na base e esperar "puxar" para desempenar.
AP-IND-I2	Argamassa industrializada: revestimento.	Temperatura ambiente de 5°C até 40°C; Temperatura da base de 5°C até 27°C.	Aplicar a argamassa direto na base (tijolo) sem chapiscar. Deve estar firme, seca e limpa, sem pó, óleo, tinta e outros resíduos que impeçam a aderência.	Adicionar água conforme embalagem (3,7 l /20 kg) à mistura até atingir uma massa homogênea.	Aplicar o revestimento na base em uma camada de no mínimo 1 cm e no máximo 2,5 cm, utilizando desempenadeira. Após a argamassa "puxar", desempenar a superfície.

Para os revestimentos de argamassa aplicados como recuperação profunda (AP-IND-RM, AP-DO-L, AP-DO-P, AP-IND-I1e AP-IND-I2), foi necessário retirar toda a camada do revestimento existente até chegar no substrato (tijolo), utilizando uma ferramenta do tipo talhadeira. E para os revestimentos de argamassa de recuperação superficial (AS-PSP, AS-ACIII e AS-PB), a superfície do revestimento após a limpeza foi lixada para retirar o máximo possível da pintura existente, aplicando-se, posteriormente, fundo preparador para agregar e fixar as possíveis partículas soltas à superfície com o intuito de não ocorrer desagregação e soltar materiais superficiais.

Para os revestimentos de argamassa dosados em obra (AP-DO-L e AP-DO-P), utilizou-se cimento Portland CP IV-32 e areia média proveniente da cidade de Santa Maria/RS, e as quantidades utilizadas foram aquelas recomendadas pelo fabricante bem como a quantidade de água. A dosagem dos materiais foi realizada em volume, e a quantidade de água foi medida com auxílio de proveta plástica com capacidade de 500 ml. A caracterização dos materiais em laboratório está exposta no Apêndice A. Não se considerou a umidade da areia, sendo que esta deveria estar o máximo possível “seca”.

As etapas de aplicação dos revestimentos de argamassa estão ilustradas no Quadro 9, desde o preparo da base até a aplicação. As condições climáticas durante a aplicação foram consideradas conforme indicações do fabricante, aferidas com auxílio de equipamento com capacidade de determinar a temperatura ambiente e umidade relativa do ar. E a condição de umidade do substrato foi a mesma para todos os revestimentos.

Para os revestimentos de argamassa de recuperação superficial (AS-PSP, AS-ACIII e AS-PB), o substrato de argamassa existente da fachada foi lixado e após se aplicou fundo preparador para aglomerar possíveis partículas soltas, visto que esta argamassa era rica em cal, sendo posteriormente realizada a aplicação da argamassa de recuperação superficial. E

para os revestimentos de recuperação profunda, retirou-se toda a camada do revestimento de argamassa existente da fachada, sendo em seguida aplicado o sistema dos revestimentos. Para AP-IND-RM e AP-DO-L, foi executada uma camada de chapisco projeto e, para AP-DO-P, a execução foi manual (com colher de pedreiro), sendo que AP-IND-I1 e AP-IND-I2 não receberam camada de chapisco (conforme orientação do fabricante), sua aplicação foi diretamente sobre o substrato.

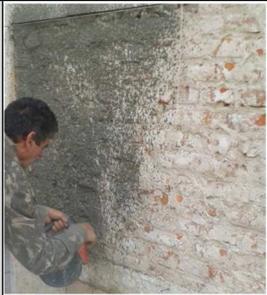
Quadro 9 – Aplicação dos revestimentos de argamassa

(continua)

REVESTIMENTO	PREPARO DA BASE	PREPARO DO PRODUTO	APLICAÇÃO	REVESTIMENTO APLICADO
AS-PSP - Argamassa industrializada: colante Piso sobre Piso	1º) BASE LIXADA; 2º) APLICAÇÃO DO FUNDO PREPARADOR; (ETAPA SEM REGISTRO FOTOGRÁFICO)	MISTURA DA QUANTIDADE DE ÁGUA ESPECIFICADA PELO FABRICANTE AO CONTEÚDO (ETAPA SEM REGISTRO FOTOGRÁFICO)	 APLICAÇÃO DA ARGAMASSA COLANTE COM A PARTE LISA DA DESEMPENADEIRA. E = ±5 MM	
AS-ACIII - Argamassa industrializada: colante AC III	 1º) BASE LIXADA; 2º) APLICAÇÃO DO FUNDO PREPARADOR;	 MISTURA DA QUANTIDADE DE ÁGUA ESPECIFICADA PELO FABRICANTE AO CONTEÚDO	 APLICAÇÃO DA ARGAMASSA COLANTE COM A PARTE LISA DA DESEMPENADEIRA. E = ±5 MM	
AS-PB - Argamassa industrializada: polimérica bicomponente	 1º) BASE LIXADA; 2º) APLICAÇÃO DO FUNDO PREPARADOR;	 MISTURA DO COMPONENTE A (PÓ-1) E DO COMPONENTE B (LÍQUIDO-3)	  APLICAÇÃO 1ª, 2ª E 3ª DEMÃOS CRUZADAS	 

Quadro 9 – Aplicação dos revestimentos de argamassa

(continuação)

<p>AP-IND-RM - Argamassa industrializada: revestimento</p>			 	<p>1º) RETIRADA DO REVESTIMENTO EXISTENTE; 2º) APLICAÇÃO DO CHAPISCO PROJETADO TRAÇO 1:3</p> <p>MISTURA DA QUANTIDADE DE ÁGUA ESPECIFICADA PELO FABRICANTE AO CONTEÚDO</p> <p>APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO, E APÓS "PUXAR" REALIZAÇÃO DO DESEMPENO</p>	
<p>AP-DO-L - Argamassa tradicional dosada em obra: revestimento</p>			 <p>1º</p>  <p>2º</p>  <p>3º</p>  <p>4º</p>	<p>1º) APLICAÇÃO 1ª CAMADA E = 1CM DO REVESTIMENTO COM ADITIVO TRAÇO 1:4; 2º) MAIS D 6 HORAS: APLICAÇÃO CHAPISCO COM ADITIVO (RESINA SINTÉTICA) TRAÇO 1:3; 3º) APLICAÇÃO 2ª CAMADA E = 1CM DO REVESTIMENTO COM ADITIVO TRAÇO 1:4; 4º) APOS "PUXAR" REALIZAÇÃO DO DESEMPENO.</p>	
<p>AP-IND-I1 - Argamassa industrializada: revestimento</p>			 <p>1º</p>  <p>2º</p>	<p>1º) APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO E = ±2 CM; 2º) APOS "PUXAR" REALIZAÇÃO DO DESEMPENO</p>	

Quadro 9 – Aplicação dos revestimentos de argamassa

(conclusão)

AP-DO-P - Argamassa tradicional dosada em obra: revestimento	 1ª) RETIRADA DO REVESTIMENTO EXISTENTE; 2ª) APLICAÇÃO DO CHAPISCO TRAÇO 1:3	 ARGAMASSA TRAÇO 1:6. MISTURA DO CIMENTO (CP IV) + AREIA MÉDIA + ADITIVO (MISTURADO AO CIMENTO + AREIA) + ÁGUA	 1ª) 2ª)	1ª) APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO E = ±2 CM; 2ª)E APÓS "PUXAR" REALIZAÇÃO DO DESEMPENO	
AP-IND-I2 - Argamassa industrializada: revestimento	 RETIRADA DA CAMADA DE REVESTIMENTO EXISTENTE	 MISTURA DA QUANTIDADE DE ÁGUA ESPECIFICADA PELO FABRICANTE AO CONTEÚDO	 1ª) 2ª)	1ª) APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO E = ±1,5 CM; 2ª)E APÓS "PUXAR" REALIZAÇÃO DO DESEMPENO	

Cabe ressaltar algumas observações a respeito da aplicação dos revestimentos de argamassa:

- AS-PSP e AS-ACIII (Argamassa industrializada colante): difícil aplicação, de modo a manter a superfície do revestimento completamente lisa, pela alta adesão da argamassa se verifica a presença de pequenas saliências;
- AS-PB (Argamassa industrializada polimérica bicomponente): fácil preparação do produto e aplicação;
- AP-IND-RM, AP-IND-I1 e AP-IND-I2 (Argamassa industrializada de revestimento): nesta pesquisa, houve controle na quantidade de água utilizada, porém, durante o preparo em obra, normalmente não há utensílio para medir a correta quantidade de água, o que pode modificar e/ou prejudicar o desempenho da argamassa no seu estado endurecido;
- AP-DO-L e AP-DO-P (Argamassa dosada em obra de revestimento): todos os materiais tiveram suas quantidades devidamente controladas, porém, em obra, tratando-se principalmente dos aditivos, a quantidade utilizada é de difícil precisão. Observou-se, também, que a quantidade de água não é especificada pelos fabricantes,

dá-se uma sugestão aleatória, a qual influencia diretamente nas propriedades da argamassa.

3.1.4.2 Aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes

Da mesma forma que os revestimentos de argamassa, para a aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes, foram analisadas as recomendações de aplicação de acordo com o fabricante, as quais estão descritas no Quadro 10.

Quadro 10 – Recomendações de aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes

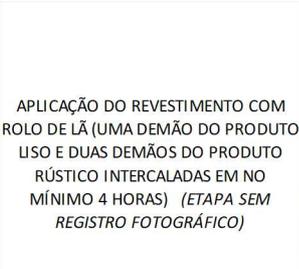
REVESTIMENTO	TIPO	CONDIÇÕES CLIMÁTICAS	PREPARO DA BASE	PREPARO DO PRODUTO	APLICAÇÃO
HIDRO1	Hidrorrepelente: formador de película.	Temperatura ambiente de 5°C até 35°C; Temperatura da base de 5°C até 27°C.	A superfície deve estar limpa e íntegra, sem desagregações ou contaminantes (óleos, graxas). A base não pode estar molhada, nem quente.	O produto já vem pronto para uso, basta homogeneizar antes da aplicação. A primeira demão pode ser diluída em 10% de água.	Aplicar no mínimo 2 demãos utilizando rolo de lã de carneiro, pincel, trincha ou sistema de projeção convencional, com intervalo mínimo de 2 horas entre demãos.
HIDRO2	Hidrorrepelente: formador de película.	Temperatura ambiente em torno de 25°C.	A base deve estar porosa, limpa, sem pintura, seca, isenta de poeira e com boa resistência. Reboco antigo ou paredes já pintadas devem ser lixadas até remover toda a pintura existente.	O produto já vem pronto para uso, basta homogeneizar antes da aplicação. A primeira demão pode ser diluída em 10% de água.	Aplicar 2 a 3 demãos com rolo de lã ou trincha, com intervalo mínimo de 6 horas entre demãos.
HIDRO3	Hidrorrepelente: formador de película.	Não aplicar quando a temperatura da superfície estiver superior a 40°C e a umidade relativa do ar estiver superior a 85%.	A base deve estar porosa, e sem partes soltas, gorduras, poeiras e mofo.	O produto já vem pronto para uso, basta homogeneizar antes da aplicação. Não é recomendado adicionar água.	Aplicar 3 demãos com rolo de lã ou pincel, com intervalo mínimo de 4 horas entre demãos.
HIDRO4	Hidrorrepelente: formador de película.	Não aplicar quando a temperatura da superfície estiver superior a 40°C e a umidade relativa do ar estiver superior a 85%.	A base deve estar porosa, e sem partes soltas, gorduras, poeiras e mofo.	O produto já vem pronto para uso, basta homogeneizar antes da aplicação. Não é recomendado adicionar água.	Aplicar a 1ª demão do produto liso (sem areia quartzosa), e a 2ª, 3ª e 4ª demão do produto rústico (com areia quartzosa). Aguardar intervalo mínimo de 4 horas entre demãos.

Todos os revestimentos hidrorrepelentes foram de fácil aplicação, bastando apenas homogeneizá-los e aplicá-los com rolo de lã ou pincel. Os revestimentos HIDRO1 e HIDRO2 foram aplicados sobre a orientação da pesquisadora, sendo que tiveram a base da superfície lixada para retirar o máximo possível da tinta aderida, porém não se conseguiu retirá-la por completo. Para manter a base íntegra, houve a aplicação do fundo preparador a fim de agregar as partículas soltas.

Os revestimentos HIDRO3 e HIDRO4 foram aplicados pelo próprio fabricante do produto. Não foi possível se fazer presente no momento da aplicação, mas todas as etapas de aplicação foram explicitadas pelo fabricante à pesquisadora. Nestes dois últimos, não foi realizado o lixamento com efeito de remoção da pintura, nem aplicação do fundo preparador, pois, pela orientação do fabricante, não havia necessidades destas etapas, sendo o produto eficaz na aderência em base com existência de tinta e suficiente para manter a integridade dos materiais da superfície. A aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes está detalhada no Quadro 11.

Quadro 11 – Aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes

(continua)

REVESTIMENTO	PREPARO DA BASE	PREPARO DO PRODUTO	APLICAÇÃO	REVESTIMENTO APLICADO
HIDRO1 - Hidrorrepelente: formador de película	 1º) BASE LIXADA; 2º) APLICAÇÃO DO FUNDO PREPARADOR	PRODUTO PRONTO, APENAS HOMOGENIZADO ANTES DA APLICAÇÃO (ETAPA SEM REGISTRO FOTOGRÁFICO)	 APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO COM PINCEL (DUAS DEMÃOS INTERCALADAS EM NO MÍNIMO 2 HORAS)	
HIDRO2 - Hidrorrepelente: formador de película	 1º) BASE LIXADA; 2º) APLICAÇÃO DO FUNDO PREPARADOR	PRODUTO PRONTO, APENAS HOMOGENIZADO ANTES DA APLICAÇÃO (ETAPA SEM REGISTRO FOTOGRÁFICO)	 APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO COM ROLO DE LÃ (TRÊS DEMÃOS INTERCALADAS EM NO MÍNIMO 6 HORAS)	
HIDRO3 - Hidrorrepelente: formador de película	 BASE (REVESTIMENTO EXISTENTE) APENAS RECEBEU A LIMPEZA	PRODUTO PRONTO, APENAS HOMOGENIZADO ANTES DA APLICAÇÃO (ETAPA SEM REGISTRO FOTOGRÁFICO)	 APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO COM ROLO DE LÃ (UMA DEMÃO DO PRODUTO LISO E DUAS DEMÃOS DO PRODUTO RÚSTICO INTERCALADAS EM NO MÍNIMO 4 HORAS) (ETAPA SEM REGISTRO FOTOGRÁFICO)	

Quadro 11 – Aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes

(conclusão)

HIDRO4 - Hidrorrepelente: formador de película		PRODUTO PRONTO, APENAS HOMOGENIZADO ANTES DA APLICAÇÃO (ETAPA SEM REGISTRO FOTOGRÁFICO)	APLICAÇÃO DO REVESTIMENTO COM ROLO DE LÃ (TRÊS DEMÃOS INTERCALADAS EM NO MÍNIMO 4 HORAS) (ETAPA SEM REGISTRO FOTOGRÁFICO)	
	BASE (REVESTIMENTO EXISTENTE) APENAS RECEBEU A LIMPEZA			

Observações importantes sobre a aplicação dos revestimentos hidrorrepelentes:

- a) HIDRO1: fácil aplicação e bom cobrimento da superfície pelo produto. Empregou-se o número de demãos recomendadas (duas);
- b) HIDRO2: fácil aplicação, porém, observou-se que o mínimo de demãos recomendadas (duas) não cobriu suficientemente a superfície, optando-se pela aplicação da terceira demão do produto;
- c) HIDRO3 e HIDRO4: fácil aplicação e ótimo cobrimento.

3.2 ETAPA II – ENSAIOS TECNOLÓGICOS

Foram realizados ensaios tecnológicos laboratoriais e *in loco*. Todos os ensaios foram realizados no estado endurecido dos revestimentos de argamassa, e seguem os estabelecimentos de normas técnicas nacionais e internacionais, e nos casos em que houve necessidade de adaptação, tais mudanças são detalhadas.

3.2.1 Ensaios laboratoriais

Os ensaios laboratoriais realizados são identificados pela determinação da permeabilidade ao vapor de água, absorção de água por capilaridade, evaporação e resistência à tração na flexão e à compressão. Estes estão expostos a seguir, abordando a técnica de ensaio, os aparelhos e materiais utilizados, bem como as possíveis adaptações no procedimento de ensaio.

3.2.1.1 Permeabilidade ao vapor de água

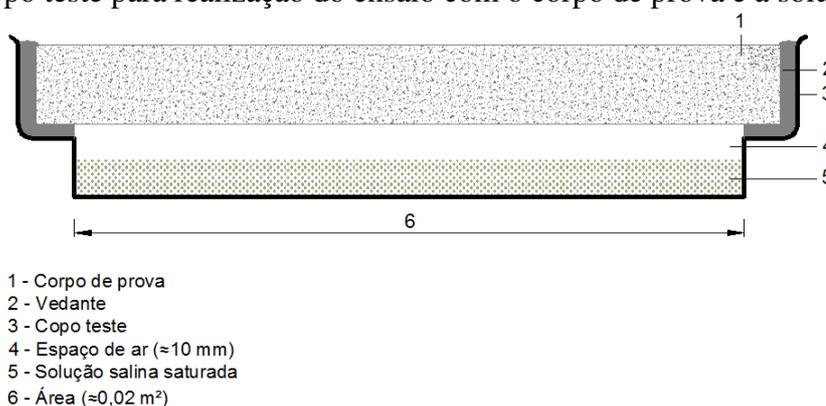
A permeabilidade do vapor de água para revestimentos de argamassa pode ser determinada por meio de ensaio laboratorial realizado com base em normas internacionais, como a EN 1015-19 (CEN, 2004) e a E 96 (ASTM, 1995). No Brasil, este ensaio ainda não é normatizado. Deste modo, para esta pesquisa, será utilizada a norma EN 1015-19 (CEN, 2004) e basear-se-á nos estudos realizados por Temp (2014) e Jantsch (2015).

Este ensaio consiste em medir a transmissão de vapor de água em argamassas no estado endurecido, quando estas são submetidas a um ambiente com diferença de pressão de vapor entre suas superfícies, com condições de temperatura e umidade relativa do ar constante. A EN 1015-19 (CEN, 2004) utiliza o Método do Copo para realização do ensaio, o qual é colocado em câmara climática regulada de acordo com condições estabelecidas.

Para a execução do ensaio, é necessária a utilização dos seguintes equipamentos e materiais: câmara climática, copo teste circular impermeável à água líquida e ao vapor, balança, solução salina saturada e material vedante impermeável. Os corpos de prova a serem ensaiados devem ser circulares com espessura uniforme variando entre 10 mm e 30 mm.

Os copos teste devem possuir abertura com área de aproximadamente $0,02 \text{ m}^2$, porém, para esta pesquisa, serão utilizados os mesmos copos utilizados por Temp (2014) e Jantsch (2015), que foram adaptados para facilitar a execução do ensaio. As amostras devem possuir diâmetro ligeiramente inferior ao diâmetro do copo, as quais são inseridas no copo teste devendo ser seladas na abertura superior do copo, sendo submetidas à uma diferença de pressão constante existente entre o interior do copo e o ambiente exterior, possibilitado por meio de utilização de uma solução salina saturada colocada no interior do copo. A Figura 35 ilustra o copo teste com o corpo de prova e a solução salina.

Figura 35 – Copo teste para realização do ensaio com o corpo de prova e a solução



Fonte: Adaptado de EN 1015-19 (CEN, 2004)

A norma prescreve dois intervalos higroscópicos, um inferior e outro superior, para manter o fluxo de vapor de água constante através do uso de uma solução salina. Para o intervalo higroscópico inferior deve ser utilizada solução salina saturada de cloreto de lítio (LiCl), a qual fornece uma umidade relativa de 12,4% a uma temperatura de 20°C. E para o intervalo superior, para manter a pressão de vapor constante, deve ser utilizado o nitrato de potássio (KNO₃), que possibilita uma umidade relativa de 93,2% à temperatura de 20°C.

Deve-se utilizar, no mínimo, 5 corpos de prova para cada intervalo higroscópico, curados por 28 dias. Conforme a norma, a cura pode ser realizada de duas maneiras, a primeira consiste em inserir as amostras em câmara climática com uma umidade relativa de 95±5%, e a segunda estabelece a inserção das amostras em sacos plásticos a uma temperatura de 20±2°C. A cura deve ser realizada em um período de tempo específico conforme a Tabela 1 da norma.

Após o tempo de cura, as amostras são colocadas em uma câmara climática regulada para manter constante uma temperatura de 20±2°C e uma umidade relativa de 50±5% ou 95±5%. O copo teste deve ser preenchido com a solução salina saturada deixando uma camada de ar de 10±5 mm, possibilitando a movimentação sem que o líquido contate a amostra. É necessário vedar o anel interno do copo que ficará em contato com o corpo de prova, de modo a evitar a passagem do fluxo de vapor de maneira indevida. Após, a mostra é colocada no copo sendo imposta a uma leve pressão, e em seguida, realizada a vedação externa entre a amostra e o copo teste. Estas etapas estão ilustradas na Figura 36.

Figura 36 – Etapas do ensaio de permeabilidade ao vapor



Fonte: Jantsch (2015)

Com estas etapas concluídas, o copo teste deve ser pesado antes de ser colado na câmara climática, determinando seu peso inicial. As medições devem ser feitas em intervalos de tempo apropriados, possibilitando a determinação da quantidade de vapor de água que migra através da amostra durante um intervalo de tempo. O resultado pode ser expresso em um gráfico demonstrando o ganho ou a perda de massa da amostra ao longo do tempo, e

ainda, pode-se calcular a permeância ao vapor de água (Λ) de acordo com a seguinte fórmula determinada pela norma EN 1015-19 (CEN, 2004):

$$\Lambda = \frac{1}{\frac{A\Delta p}{\frac{\Delta G}{\Delta t}} - R_A} \quad (1)$$

Onde, de acordo com Temp (2014):

Λ : permeância ao vapor de água (kg/m².s.Pa)

A: área de abertura do copo de ensaio (m²)

Δp : diferença de pressão do vapor de água entre ar ambiente e solução saturada (Pa)

$\Delta G/\Delta t$: fluxo do vapor de água (kg/s)

R_A : resistência ao vapor de água da folga de ar entre o corpo de prova e a solução salina (0.048x10⁹Pa m² s/kg por 10 mm de folga)

A permeância de vapor de água nada mais é do que o fluxo de vapor de água passante em uma área sob condições de equilíbrio, por unidade de diferença na pressão de vapor de água entre dois lados do mesmo material. Ainda, conforme Temp (2014), a diferença de pressão ao vapor de água (Δp) entre os dois lados do corpo de prova é composta pela diferença de pressão de cada um dos ambientes (P):

$$P = P_s \times \frac{HR}{100} \text{ (Pa)} \quad (2)$$

Onde, a pressão parcial de saturação (P_s) corresponde a 2336Pa a uma temperatura de 20°C. E a permeabilidade ao vapor de água (π) resulta da permeância (Λ) multiplicada pela espessura do corpo de prova:

$$\pi = \Lambda \times e \text{ (kg/m. s. Pa)} \quad (3)$$

A partir da permeabilidade ao vapor de água (π), determina-se a espessura da camada de ar de difusão equivalente (S_d):

$$S_d = 1,95 \times 10^{-10} \times e/\pi \text{ (m)} \quad (4)$$

E ainda, conforme a norma EN 998-1 (CEN, 2003), o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água (μ) pode ser calculado pela seguinte equação:

$$\mu = \frac{1,94 \times 10^{-10}}{\Lambda} \quad (5)$$

Para esta pesquisa, foram utilizados 5 corpos de prova cilíndricos para cada revestimento estudado, com diâmetro ligeiramente inferior ao do copo teste de 150 mm, para tanto foram empregados moldes de tubo de PVC de 150 mm, e a espessura de todos os corpos de prova foi de 20 mm. A cura foi realizada em condições normais de ambiente durante 28 dias, não se efetuou cura úmida conforme procede a norma, pois, desta maneira, mantém condições mais próximas possíveis do canteiro de obras.

Para os revestimentos empregados como acabamento superficial, utilizaram-se corpos de prova da argamassa referência industrializada (AP-IND-RM), nos quais se aplicou superficialmente o revestimento. O fluxo de vapor se dará do meio externo para o meio interno do copo, sendo que isso só será possível se o revestimento superficial permitir esta transferência, caso contrário formará uma barreira para passagem do vapor, portanto a argamassa industrializada utilizada não afetará os resultados.

Utilizou-se o intervalo higroscópico inferior, portanto a solução salina saturada é composta pelo cloreto de lítio (LiCl), fornecendo uma umidade relativa de 12,4% à temperatura de 20°C. A câmara climática onde permaneceram confinados os copos teste é da marca Feutron, modelo KPK 200 (Figura 37), configurada em temperatura de 20°C e umidade relativa de 95%, permanecendo o máximo possível constantes e permitindo a existência de uma diferença de pressão entre o interior e o exterior do copo teste. Nestas condições de ensaio, o fluxo de vapor ocorre através dos corpos de prova do meio externo para o meio interno do copo.

Figura 37 – Câmara climática utilizada no ensaio



Antes da montagem dos copos teste, os corpos de prova foram vedados com silicone na face inferior e superior, nas bordas que estão fora do limite do diâmetro interno do copo onde se encontra a solução salina, para que o fluxo de vapor ocorra apenas na região em que a amostra está exposta à solução. Em seguida, montou-se o copo teste, colocando a solução salina no diâmetro interno do copo, deixando uma camada de ar de 10 ± 5 mm. Fixou-se uma fita de massa de calafetar na borda do diâmetro interno do copo, permitindo a vedação entre o copo e a amostra. Em seguida, a amostra foi colocada no copo teste sobre a massa de calafetar, aplicando-se uma leve pressão. Para finalizar a montagem, foi fixada outra fita de massa de calafetar na borda externa do copo, promovendo a vedação entre o corpo de prova e o ambiente externo. Deste modo, deu-se início ao ensaio, sendo que as medições do peso dos copos teste foram realizadas em intervalos de 24 h consecutivas num período de 15 dias.

Figura 38 – Etapas da montagem dos copos teste



3.2.1.2 Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade consiste em determinar a absorção de água por ascensão capilar, realizado conforme a NBR 9779 (ABNT, 2012). Este ensaio também pode ser efetuado através da NBR 15259 (ABNT, 2005), porém optou-se pela NBR 9779 (ABNT, 2005) pelo motivo de os corpos de prova ficarem imersos durante um maior período de tempo. Por se tratar de amostras que, conforme hipótese, absorvem menos água, em um reduzido espaço de tempo submetidas à ascensão capilar poderia se obter resultados quase que irrelevantes.

Para a realização do ensaio é necessário possuir no mínimo três amostras de corpos de prova com volume mínimo de 195 cm³ (no caso de argamassas), e moldados de acordo com a NBR 7215. As amostras devem primeiramente ser secas em estufa (105±5 °C) até atingirem constância de massa, e posteriormente resfriadas em dessecador com temperatura de 23±2 °C determinando sua massa seca (m_s).

As amostras devem ser imersas em recipiente com água em um ambiente com temperatura constante de 23±2 °C. Os corpos de prova devem ser posicionados sobre suportes mantendo uma lâmina d'água constante em sua face inferior de 5±1 mm, e impedir a molhagem de outras superfícies. Determinar durante o ensaio a massa saturada (m_{sat}) das amostras em 3 h, 6 h, 24 h, 48 h e 72 h, sendo enxugados com pano úmido antes da pesagem, e retornados imediatamente ao recipiente de ensaio.

O resultado da absorção de água por capilaridade é expresso em (g/cm²) e determinado a partir do aumento de massa das amostras imersas parcialmente em água, conforme a equação:

$$C = \frac{m_{sat} - m_s}{S} \quad (6)$$

Onde:

C: absorção de água por capilaridade (g/cm²)

m_{sat} : massa saturada do corpo de prova (g)

m_s : massa do corpo de prova seco (g)

S: área da seção transversal (cm²)

Para os revestimentos aplicados como recuperação superficial foram utilizados corpos de prova da argamassa referência industrializada (AP-IND-RM). Aplicou-se o revestimento superficial na face inferior e nas faces laterais da amostra.

Nesta pesquisa, utilizaram-se 3 corpos de prova para cada revestimento com dimensões de 4 m x4 cm x16 cm. Optou-se por não realizar a secagem do corpo de prova em estufa, mas sim deixá-los em temperatura ambiente de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $60\pm 5\%$ até completarem a idade de 28 dias, pois alguns dos revestimentos utilizados não resistiriam à alta variação térmica, deste modo, todas as amostras não foram secas em estufa. Também, não se realizou a cura úmida das amostras, tentando-se aproximar o máximo possível da realidade das condições de obra. A Figura 39 mostra os corpos de prova sobre a lâmina d'água e a demonstração de pesagem nos tempos determinados.

Figura 39 – Corpos de prova no ensaio de capilaridade



3.2.1.3 Evaporação

O ensaio de evaporação consiste em determinar o tempo necessário que um corpo de prova de argamassa perde água por evaporação, após ele ter sido submetido à imersão em água pelo ensaio de absorção por capilaridade. Para tal, baseou-se nos ensaios feitos por Brito (2009), que utilizou os procedimentos da No. II. 5 (RILEM, 1980).

Brito (2009) utilizou três corpos de prova com dimensões de 50 mm x50 mm x30 mm para cada revestimento, porém a norma permite amostras cúbicas ou prismáticas. Os corpos de prova devem ter as faces laterais revestidas com resina epóxi, de modo a selá-las para que a evaporação ocorra unilateralmente, apenas na face superior. Os corpos de prova devem ser inicialmente secos em estufa a 60°C durante 5 dias e, após, registrada sua massa seca. Em

seguida, devem ser imersos parcialmente em água, permanecendo sua face inferior 5 mm abaixo do nível da água durante um período de 96h, suficiente para atingir sua saturação.

Depois de finalizada a etapa de imersão parcial dos corpos de provas, eles devem ser retirados da água e colocados sobre uma folha de polietileno de modo a selar a face que estava em contato com a água, para que a evaporação ocorra apenas na face superior. O ensaio deve ser realizado em uma sala condicionada com temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $60\pm 5\%$. Para avaliação da quantidade de água evaporada, efetua-se a pesagem dos corpos de provas com periodicidade de 1h durante 7h de ensaio, e após diariamente (uma vez por dia). Como o ensaio é relativamente longo, após certa evolução, pode-se efetuar a pesagem de duas a três vezes por semana.

O resultado pode ser expresso pela curva de evaporação, relacionando o teor de água evaporada (expresso em %) com a variação do tempo (expresso em h). O teor de água é obtido conforme a seguinte equação:

$$W_i = \frac{m_i - m_{seca}}{m_{seca}} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

W_i : teor de água evaporada (%)

m_i : massa do corpo de prova no instante t_i (g)

m_{seca} : massa do corpo de prova seco em estufa (g)

Para este ensaio, nesta pesquisa, foram utilizados 3 corpos de prova com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm para cada revestimento estudado. As amostras foram curadas durante 28 dias em condições ambiente de laboratório, submetidas após a secagem em estufa com uma temperatura de 60°C até atingirem constância de massa entre pesagens consecutivas. Foram seladas as quatro faces laterais do corpo de prova com duas demãos de resina epóxi (utilizou-se adesivo estrutural contendo resina epóxi), sendo a face inferior colocada sobre a lâmina d'água constante de 5 mm durante 96h. Após este período, os corpos de prova foram retirados da água e tiveram sua face inferior selada com uma folha plástica de polietileno, permitindo a evaporação apenas na face superior das amostras (unilateralmente). A Figura 40 ilustra cada etapa do ensaio.

Figura 40 – Etapas do ensaio de evaporação



Para os revestimentos de recuperação superficial, foram utilizados corpos de prova da argamassa referência industrializada (AP-IND-RM), os quais receberam, nas quatro faces laterais, selagem pela resina epóxi e, na face superior, foram revestidos por tais revestimentos.

A pesagem das amostras para o ensaio foi realizada após a secagem em estufa, antes e após a imersão em água, e em intervalos de 1h durante 7h a partir de quando se iniciou o ensaio de evaporação (após imersão). Após a pesagem, ocorreu diariamente durante 7 dias, em seguida três vezes por semana durante 10 semanas, e quando a perda de massa se tornou muito pequena, as pesagens foram realizadas uma vez por semana. Ao todo, o ensaio de evaporação teve duração total de 252 dias. O Quadro 12 demonstra as idades de cada etapa do ensaio.

Quadro 12 – Idade de cada etapa do ensaio de evaporação

ETAPAS	DESMOLDAGEM	CURA	SECAGEM EM ESTUFA 60° C	SELAGEM DAS FACES COM DUAS DEMÃOS DE RESINA EPÓXI	CAPILARIDADE	PESAGENS
IDADE (DIAS)	2	28	28 - 33	33 - 35	35 - 39	39 - 252

3.2.1.4 Resistência à tração na flexão e à compressão

Este ensaio é preconizado pela NBR 13279 (ABNT, 2005) para argamassas no estado endurecido. Para sua execução, é necessário moldar três corpos de prova por idade, sendo que a preparação da argamassa deve ser feita de acordo com a NBR 13726. As amostras devem permanecer durante 48 ± 24 h nos moldes em ambiente com temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $60 \pm 5^\circ\text{C}$, desmoldadas e mantidas neste mesmo ambiente até a ruptura.

Para o ensaio de resistência à tração na flexão, os corpos de prova devem ser posicionados nos dispositivos de apoio, sem que a face rasada fique em contato com os

dispositivos de apoio nem com o dispositivo de carga. Deve-se aplicar carga de 50 ± 5 N/s até a ruptura do corpo de prova, sendo em seguida calculada a resistência à tração na flexão pela seguinte equação:

$$R_f = \frac{1,5 F_t L}{40^3} \quad (8)$$

Onde:

R_f : resistência à tração na flexão (MPa)

F_t : carga aplicada verticalmente no centro do prisma (N)

L : distância entre os suportes (mm)

Para o ensaio de resistência à compressão, são utilizadas as metades dos três corpos de prova do ensaio de resistência à tração na flexão. Da mesma forma, a face rasada das amostras não pode ficar em contato com o disposto de apoio e de carga. A carga a ser aplicada deve ser de 500 ± 50 N/s até a ruptura, calculando a resistência à compressão pela seguinte equação:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (9)$$

Onde:

R_c : resistência à compressão (MPa)

F_c : carga máxima aplicada (N)

1600: área da seção quadrada do dispositivo de carga de 40 x 40 mm (mm²)

Determinou-se para esta pesquisa confeccionar 3 corpos de prova a serem ensaiados conforme a norma na idade de 28 dias, apenas para os revestimentos caracterizados por argamassas de revestimento de recuperação profunda (AP-IND-RM, AP-DO-L, AP-DO-P, AP-IND-I1 e AP-IND-I2). Primeiramente, foram rompidos à tração na flexão e após à compressão, como ilustrado na Figura 41.

Figura 41 – Ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão



3.2.2 Ensaaios *in loco*

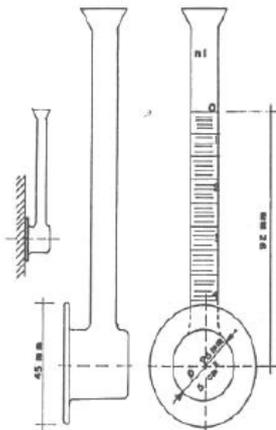
Após a aplicação dos revestimentos na fachada em estudo, foram realizados os seguintes ensaios *in loco*: permeabilidade à água líquida pelo método do cachimbo, absorção e evaporação da água, termografia e resistência de aderência à tração.

3.2.2.1 Permeabilidade à água líquida

O ensaio de permeabilidade à água líquida se realizou por meio do método do cachimbo, que consiste em determinar a capacidade de absorção de água de um revestimento durante um período de tempo, e pode ser realizado *in loco* ou em laboratório. No Brasil, este ensaio ainda não é normatizado, mas pode ser executado por normas internacionais, como a NIT No. 140 (CSTC,1982) e o Test Method No. II.4 (RILEM,1980).

Utiliza-se o tubo de Karsten para aferição da absorção de água, que possibilita uma pressão inicial de água de 92 mm de coluna d'água e representa uma ação estática de vento com velocidade de aproximadamente 140 km/h, sendo que a altura da coluna d'água corresponde à pressão exercida de maneira que 1 mm corresponda a 10 Pa (ALMEIDA DIAS; CARASEK, 2003). A Figura 42 ilustra o tubo de Karsten, que deve ser fixado sobre o revestimento a ser ensaiado.

Figura 42 – Tubo de Karsten



Fonte: CSTC (1982 *apud* HATTGE, 2004)

Para realização do ensaio, são necessários os seguintes aparelhos e materiais: tubo de Karsten (cachimbo de vidro graduado em décimos de ml com volume de 4 cm³ e em formato de “L”), material vedante (massa de calafetar, silicone, massa de modelar, etc.), pisseta plástica, pipeta e cronômetro.

O revestimento a ser ensaiado deve estar limpo e isento de pó para a fixação do tubo de Karsten (mínimo três tubos). Utiliza-se o material vedante para fixar o tubo que deve ser pressionado levemente, bem como garantir a vedação dos bordos. Após a secagem do material de vedação, preenche-se o tubo com água até atingir o nível de 0 cm³ com o auxílio da pisseta plástica e da pipeta. Por conseguinte, observa-se a permeabilidade da água efetuando leitura da diminuição do nível da água com o auxílio do cronômetro.

A leitura deve ser realizada a cada minuto durante 15 min ou até atingir o nível de 4 cm³ conforme determina o CSTC. E para a RILEM, as leituras podem ser efetuadas em 5, 10, 15, 30 e 60 min ou até a água atingir o nível de 4 cm³, e para ensaio realizado *in loco* este tempo pode ser reduzido para 5, 10 e 15 min (SERAFIM, 2012). Os resultados podem ser apresentados em forma de gráfico, relacionando a quantidade de água absorvida ao longo do tempo.

Também, é possível determinar o coeficiente de absorção através da equação apresentada pela PROCEQ (2001 *apud* FLORES-COLEN, 2009):

$$C_{\text{absorção}} = \frac{x \times 10^{-3}}{d^2 \times \left(\frac{\pi}{4} \times 10^{-6} \times \sqrt{t}\right)} \quad (10)$$

Onde:

$C_{\text{absorção}}$: coeficiente de absorção de água da camada superficial ($\text{kg}/[\text{m}^2\text{xh}^{1/2}]$)

x: quantidade de água absorvida (ml)

d: diâmetro da superfície pela qual é feita a absorção da água (mm)

t: tempo da leitura (h)

A norma ISO 15148 (CEN, 2002 *apud* KÜNZEL *et al.*, 2004) sugere uma equação para a determinação da absorção da água (kg/m^2):

$$m_{\text{abs}} = A \times \sqrt{t_{\text{rain}}} \quad (11)$$

Onde:

m_{abs} : absorção de água pela fachada (kg/m^2)

A: coeficiente de absorção de água da camada superficial ($\text{kg}/[\text{m}^2\text{xh}^{1/2}]$)

t_{rain} : tempo de ensaio (h)

Para este trabalho, determinou-se a utilização de 6 tubos de vidro para cada revestimento avaliado, os quais foram fixados com silicone e vedados com auxílio de massa de calafetar. Como se trata de revestimentos com propriedades hidrofugantes, espera-se, portanto, uma absorção mais lenta do líquido pelo revestimento. Assim, definiu-se realizar a leitura em 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 1440 e 2880 min. Os tubos de vidro foram preenchidos com água da torneira até o nível de 0 cm^3 , e a cada leitura efetuada eram novamente preenchidos com água retornando à pressão de 92 mm na coluna.

Considerando o tempo de ensaio e o número de tubos disponíveis, verificou-se a inviabilidade de execução do ensaio num mesmo dia. E como a idade de cura dos revestimentos é diferente, foi desprezado este parâmetro, pois cada um apresentaria ambiente de ensaio com condições climáticas diferentes, que dificultariam a comparação dos dados, visto que a absorção de água é influenciada diretamente pela temperatura, umidade relativa do ar e vento, as quais possuem grande variabilidade principalmente por se tratar de um ensaio *in loco*. Deste modo, foi necessária adaptação do ensaio, o qual se realizou quando havia condições ambientais de $24 \pm 2^\circ\text{C}$ de temperatura ambiente e $60 \pm 5\%$ de umidade relativa do ar no tempo inicial do ensaio. Também se observou, antes da execução do ensaio, se houve precipitação, devendo o revestimento estar “seco”.

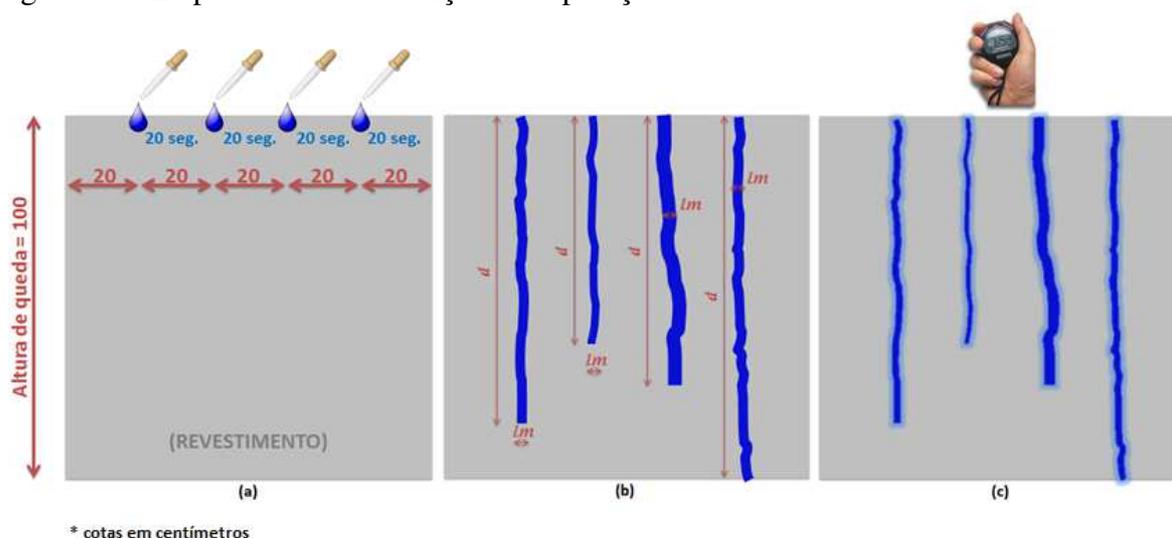
3.2.2.2 *Ensaio empírico de absorção e evaporação da água*

Realizou-se um ensaio empírico de ordem qualitativa e quantitativa idealizado pela pesquisadora, de modo a determinar a absorção e evaporação da água por meio de observação visual e medições métricas e de tempo. Como se sabe, materiais higroscópios, ao entrarem em contato com um líquido, o absorvem através dos seus poros capilares, sendo que a quantidade absorvida está totalmente ligada ao tamanho e à quantidade dos poros. O líquido migra pelo interior dos capilares e é devolvido ao ambiente por meio da evaporação, ou seja, em seu estado de vapor.

Para a execução do ensaio, é necessária a utilização de um conta-gotas com capacidade de, no mínimo, 2 ml, cronômetro e trena métrica. Primeiramente, é analisada a absorção de água e, posteriormente, é possível observar a evaporação. O ensaio ocorre da seguinte maneira:

- a) Encher com água potável um conta-gotas até o nível de 2 ml e lentamente permitir a queda da água por pressão da gravidade sobre o revestimento (cerca de vinte segundos), o que deverá ser feito no topo do revestimento com distância de um metro de sua base. Este processo deve ser realizado quatro vezes com espaçamento médio de 20 cm entre as quedas d'água (Figura 43 (a));
- b) Após a queda, devem ser registradas: distância d absorvida de queda d'água desde o topo e a largura média lm do espalhamento de absorção (Figura 43 (b));
- c) Registrar o tempo (em minutos) em que o revestimento leva para evaporar a água absorvida, desde o momento de finalização de queda (final dos vinte segundos), (Figura 43 (c)).

Figura 43 – Etapas ensaio de absorção e evaporação



A análise qualitativa pode ser realizada nos revestimentos, visualizando seu comportamento de maneira comparativa, como por exemplo, forma de queda e espalhamento da absorção de água. E a análise quantitativa pode ser feita através das médias das medições métricas de altura de queda e espalhamento de absorção, da área de espalhamento da água absorvida e do tempo de evaporação da água.

Determinou-se realizar o ensaio nos revestimentos quando estes se encontravam na condição “seca”. Como o ensaio é executado relativamente rápido, foi possível realizá-lo em todos os revestimentos em um mesmo dia e turno, mantendo as mesmas variáveis e condições, e todos possuíam idade mínima de 28 dias.

3.2.2.3 Termografia

A termografia é uma técnica de ensaio não destrutiva, a qual pode ser empregada e analisada de duas formas: qualitativa ou quantitativa. Na análise qualitativa, há o registro apenas da temperatura superficial de paramentos, e na análise quantitativa, é necessária a utilização dos parâmetros de emissividade, temperatura ambiente, distância à superfície, umidade relativa do ar, os quais irão corrigir os valores de temperatura registrados utilizando um *software* de análise de imagens termográficas.

A norma EN 13187 (CEN, 1999) aborda os requisitos e medidas necessários para a realização de ensaio termográfico de ordem qualitativa, mas pode-se aplicar também para ensaios com análise quantitativa. Entre estes requisitos, a norma específica que devem ser descritas informações básicas do edifício, do equipamento a ser utilizado para o registro das

imagens, das condições climáticas, relatório termográfico, e outros fatores que podem ser relevantes.

Para esta pesquisa, foi utilizada a análise termográfica quantitativa, para o que foi necessário saber, no momento de execução do ensaio, as condições climáticas de temperatura ambiente e umidade relativa do ar. Em relação à emissividade, foi utilizado valor específico para cada tipo de revestimento estudado, e a refletividade dos materiais não foi considerada, pois se tratam de materiais com refletividade praticamente nula, e como a fachada em estudo possui orientação solar sul, não há influência de insolação direta sobre a superfície.

Para o registro das imagens termográficas, foi utilizada uma câmera infravermelha da marca Flir modelo T 440, que permite visualizar o calor invisível a olho nu. Possui capacidade de registrar imagens com temperatura na faixa de -20°C a 1200°C , possibilita correções de medições a partir de uso de *software*, capta imagens de 320 x 240 pixels. O equipamento utilizado é ilustrado na Figura 44.

Figura 44 – Câmera infravermelha utilizada para registro das imagens termográficas



Fonte: Flir (2016)

E para se efetuar a determinação dos valores de temperatura do ambiente, umidade relativa do ar, e velocidade do vento, foi utilizado o equipamento medidor de umidade, temperatura e fluxo de ar da marca Extech Instruments modelo 45160. O equipamento exibe simultaneamente os valores de temperatura (0 a 50°C), umidade relativa do ar (10 a 95%) e velocidade do vento (1,4 a 108,0 km/h). A Figura 45 ilustra o equipamento utilizado.

Figura 45 – Equipamento utilizado para medição da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento



O valor de emissividade do material pode ser obtido por meio de valores tabelados ou a partir de técnica de ensaio simples. Neste trabalho, utilizou-se a norma ISO 18434-1 (ISO, 2008) para execução de ensaio de determinação da emissividade dos revestimentos estudados, visto que, nem todos possuem seus valores tabelados, e assim se obteve com exatidão os valores que foram utilizados no ensaio de termografia.

A norma prescreve que é necessária a utilização de um equipamento (câmera termográfica) e material de modificação de superfície com alta emissividade (ϵ) conhecida. Este material normalmente empregado é a fita isolante com $\epsilon=0,95$. Deve-se cobrir uma pequena parte da superfície a ser ensaiada com a fita isolante, que preencha suficientemente o campo de visão da câmera. Antes de iniciar o ensaio, é preciso esperar um período de tempo para que a temperatura da fita entre em equilíbrio com a temperatura da superfície, ou seja, que ambos possuam a mesma temperatura.

A câmera deve ser colocada a uma distância da superfície a ser medida, utilizando o valor de emissividade da fita isolante. A norma não faz alusão sobre a distância do alvo a ser adotada, portanto, para esse trabalho, será utilizada uma distância de 1 m. Após o equilíbrio térmico, efetua-se a medição registrando através da imagem térmica a temperatura na fita isolante. Em seguida, a câmera deve ser ajustada com o foco sobre superfície adjacente à fita, onde será registrada a temperatura na superfície, variando o valor da emissividade até se alcançar o mesmo valor de temperatura da fita isolante. Quando se obtiver a mesma temperatura, o valor de emissividade da superfície avaliada será aquele utilizado no momento deste registro. Este processo deve ser realizado no mínimo três vezes e obter simplesmente a média dos valores. Durante o ensaio, a superfície deve estar seca e a fita bem aderida a ela.

Após a determinação dos valores de emissividade dos revestimentos, foi possível registrar com imagens a temperatura de sua superfície, por meio do ensaio de termografia. Adotou-se para esta pesquisa realizar o ensaio após a ocorrência de forte precipitação e

quando os revestimentos se encontravam “secos”, ambos com idade dos revestimentos em média de 6 meses. As medições foram efetuadas ao longo do dia, durante a manhã e tarde, com intervalos de aproximadamente 4h entre elas, pois a temperatura na superfície vai se alterando com o passar do tempo ao longo do dia.

Deste modo, foi possível observar as diferenças de temperatura nas superfícies dos revestimentos em relação à umidade, pois quanto maior a quantidade de água absorvida, menor será a temperatura na superfície. E ao longo do dia, pela variação climatológica, a água evapora e modifica a temperatura superficial do revestimento.

Durante a execução do ensaio, o equipamento foi disposto perpendicularmente a uma distância de 1 m do alvo, registrando as imagens termográficas em cada revestimento estudado e utilizando os respectivos valores de emissividade dos revestimentos, a temperatura atmosférica e umidade relativa do ar no momento do ensaio, e o valor da distância do alvo determinada.

3.2.2.4 Resistência de aderência à tração

Para determinar a resistência de aderência à tração, deve-se realizar ensaio de acordo com a NBR 13528 (ABNT, 2010). Cada ensaio deve ser composto por 12 corpos de prova distribuídos de forma aleatória em pontos espaçados entre si de no mínimo 50 mm. Deve-se executar corte a seco ou com água de acordo com as características da argamassa. Se realizado úmido, o corte precisa ser feito com antecedência para que o revestimento esteja seco quando se realizar a colagem da pastilha.

O corte deve ser feito no revestimento de modo a atingir no mínimo a superfície do substrato, estendendo-se de 1 mm a 5 mm dentro do substrato. Antes de colar as pastilhas, a superfície do revestimento precisa ser limpa, removendo as partículas soltas. A colagem deve ser feita centralizada no corpo de prova delimitado pelo corte, aguardando a secagem para executar o ensaio. O equipamento é posicionado sobre a pastilha com seu eixo de aplicação da carga ortogonal ao plano do revestimento, aplicando esforço de tração com taxa de carregamento constante até a ruptura. Posteriormente, calcular a resistência de aderência pela equação seguinte:

$$Ra = \frac{F}{A} \quad (12)$$

Onde:

Ra: resistência de aderência à tração (MPa)

F: força de ruptura (N)

A: área do corpo de prova (mm²)

Conforme especifica a NBR 13749 (ABNT, 2013), entre os doze corpos de prova ensaiados, oito devem apresentar valores de resistência de aderência à tração de no mínimo 0,30 MPa para revestimento de argamassa em parede externa.

O ensaio de resistência de aderência à tração foi realizado somente ao final da concretização de todos os ensaios *in loco*, pois caso contrário inviabilizaria a sua realização pela superfície dos revestimentos ser completamente interferida. O procedimento de ensaio foi realizado em todos os revestimentos de argamassa, conforme mostra a Figura 46.

Figura 46 – Procedimento de ensaio de resistência de aderência à tração



3.3 ETAPA III – ANÁLISE DE CUSTOS

Foi determinado o custo/m² de cada revestimento estudado, agregando os valores de material e mão de obra. Os custos de materiais utilizados foram aqueles encontrados para comercialização no mercado da construção civil na região da Santa Maria/RS, e para a mão de obra utilizaram-se os custos determinados pelo SINAPI/RS para o mês de agosto/2016 (mês de aplicação dos revestimentos).

3.3.1 Composição de custos dos revestimentos

No momento de aplicação de cada revestimento, originou-se a quantidade de cada material utilizado por m². Deste modo, foi possível realizar o custo de material do revestimento por meio de uma composição de custos, demonstrando a representatividade de cada material para cada m². Da mesma maneira, a quantidade de mão de obra (homem/hora) foi registrada no momento de aplicação do revestimento, informando o tempo decorrente da realização do serviço. Também, foram registrados os tempos de remoção do revestimento existente e da limpeza da fachada.

De posse do custo de material e mão de obra, foi possível determinar o custo total do revestimento, realizando simplesmente a soma de ambos. Estando finalizados os ensaios tecnológicos e aliando-os aos resultados da análise de custos, realizou-se a comparação do custo/benefício dos revestimentos estudados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentados os resultados dos ensaios tecnológicos laboratoriais e *in loco* dos revestimentos estudados, incluindo uma análise em cada ensaio sobre o comportamento das argamassas e hidrorrepelentes.

4.1 ENSAIOS LABORATORIAIS

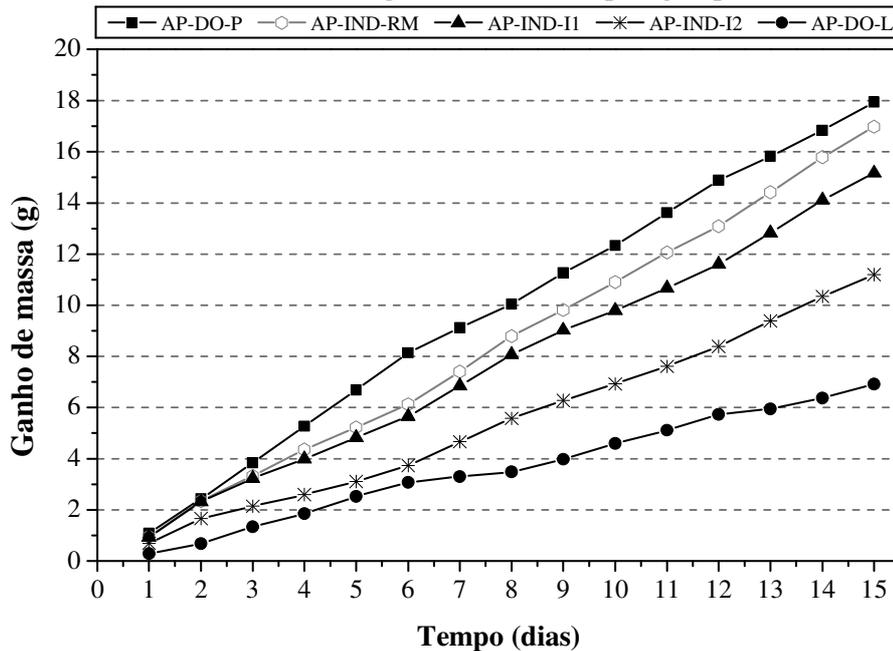
Os ensaios laboratoriais para a avaliação do desempenho à estanqueidade à água dos revestimentos são abrangidos pelos ensaios de permeabilidade ao vapor de água, absorção de água por capilaridade, evaporação e resistência à tração na flexão e à compressão.

4.1.1 Permeabilidade ao vapor de água

4.1.1.1 Argamassas

As argamassas de recuperação profunda obtiveram os resultados mostrados na Figura 47, as quais apresentaram um ganho de massa contínuo durante os 15 dias de ensaio. Observa-se que a argamassa dosada em obra AP-DO-P foi a que permitiu maior passagem de fluxo de vapor através dos corpos de prova, ou seja, foi a mais permeável ao vapor dentre as argamassas de recuperação profunda. Ao contrário, a argamassa dosada em obra AP-DO-L demonstrou ser a menos permeável ao vapor d'água. Já as argamassas industrializadas apresentaram um ganho de massa intermediário. Com exceção da argamassa AP-DO-P, todas as demais foram menos permeáveis do que a argamassa referência AP-IND-RM.

Figura 47 – Ganho de massa diário das argamassas de recuperação profunda



Percebe-se que as argamassas hidrofugantes provavelmente possuem menor porosidade, desta forma, dificultando a passagem do vapor d'água pelos corpos de prova. Porém, a argamassa dosada em obra AP-DO-P obteve um ganho de massa superior em relação à argamassa referência AP-IND-RM.

Na Tabela 2, é apresentado o valor total de ganho de massa, a permeância, a permeabilidade e o coeficiente de permeabilidade das argamassas de recuperação profunda, permitindo uma melhor análise do seu comportamento. Assim, observa-se que o revestimento AP-IND-I1 e a referência AP-IND-RM mostraram um fluxo de vapor pelas amostras muito semelhante, assim como o revestimento AP-IND-RM se aproximou do desempenho à permeabilidade ao vapor apresentado pelo revestimento AP-DO-P. Também, o revestimento menos permeável AP-DO-L alcançou um resultado bem discrepante às demais argamassas, sendo 59,31% menos permeável do que a argamassa referência AP-IND-RM. É possível perceber que os valores de ganho de massa são muito pequenos, o que permite dizer que estas diferenças também são pequenas, com exceção de AP-DO-L.

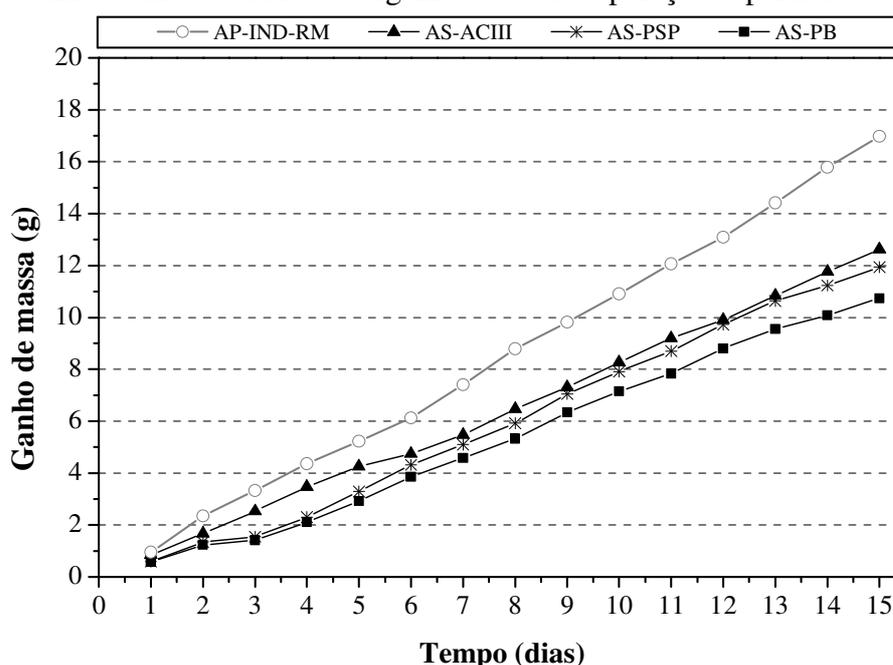
Tabela 2 – Particularidades das argamassas de recuperação profunda

REVESTIMENTO	GANHO DE MASSA (g)	PERMEÂNCIA Λ (kg/m ² .s.Pa)	PERMEABILIDADE π (ng/m.s.Pa)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE μ	% DE GANHO DE MASSA EM RELAÇÃO À AP-IND-RM
AP-DO-L	6,91	3,58 E-10	7,16	0,54	-59,31
AP-IND-I2	11,2	5,86 E-10	11,73	0,33	-34,04
AP-IND-I1	15,17	8,02 E-10	16,04	0,24	-10,66
AP-IND-RM	16,98	9,02 E-10	18,04	0,22	-
AP-DO-P	17,94	9,55 E-10	19,11	0,20	5,65

No geral, as argamassas de recuperação profunda analisadas exibiram uma permeabilidade ao vapor d'água com resultados poucos distintos, apesar de se observar que os extremos (AP-DO-P e AP-DO-L) demonstraram valores distantes entre si, sendo que as semelhanças dos resultados ficaram representadas no comportamento das argamassas industrializadas.

Já os revestimentos de argamassa de recuperação superficial correspondidos pelas argamassas colantes e a polimérica bicomponente, exibiram o comportamento de permeabilidade ao vapor d'água mostrado na Figura 48. Revelou-se que o fluxo de vapor nestas argamassas é similar, pois as argamassas colantes obtiveram resultado muito próximo, seguido da argamassa polimérica bicomponente. Com a aplicação destes revestimentos sobre o corpo de prova da argamassa referência AP-IND-RM, percebe-se que a passagem de vapor através da amostra diminui, demonstrando que há um bloqueio no fluxo de vapor.

Figura 48 – Ganho de massa diária das argamassas de recuperação superficial



As particularidades para a propriedade de permeabilidade ao vapor d'água das argamassas de recuperação superficial estão apresentadas na Tabela 3. Novamente, observa-se como o desempenho destas argamassas é semelhante, e que são cerca de 25 a 36% menos permeáveis do que a argamassa referência AP-IND-RM.

Tabela 3 – Particularidades das argamassas de recuperação superficial

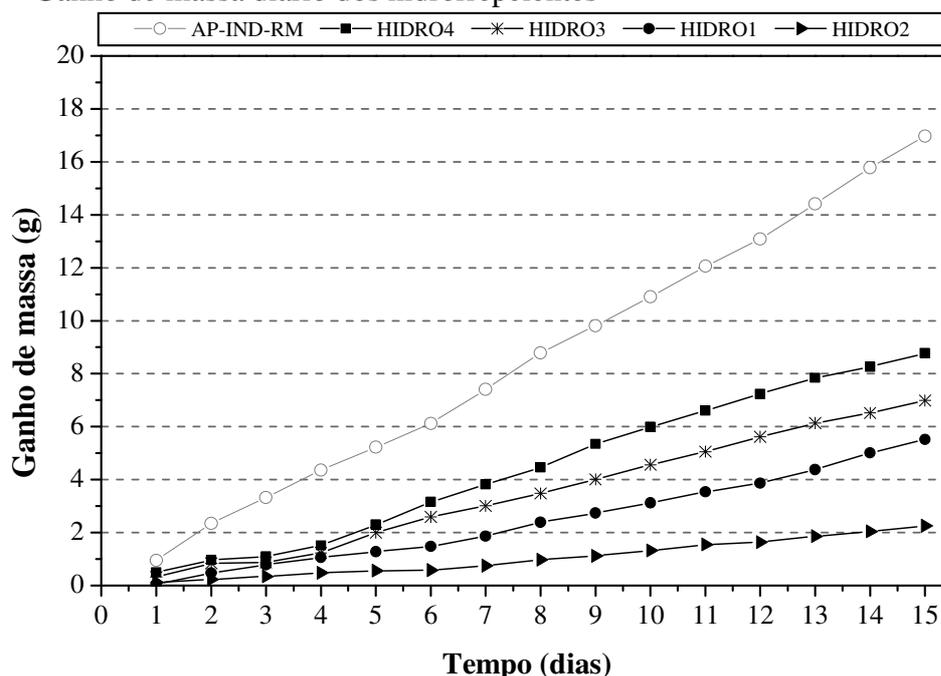
REVESTIMENTO	GANHO DE MASSA (g)	PERMEÂNCIA Λ (kg/m ² .s.Pa)	PERMEABILIDADE π (ng/m.s.Pa)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE μ	% DE GANHO DE MASSA EM RELAÇÃO À AP-IND-RM
AS-PB	10,74	5,62 E-10	11,23	0,35	-36,75
AS-PSP	11,94	6,26 E-10	12,52	0,31	-29,68
AS-ACIII	12,63	6,64 E-10	13,27	0,29	-25,62
AP-IND-RM	16,98	9,02 E-10	18,04	0,22	-

Ao fim do ensaio de permeabilidade ao vapor de água para os revestimentos de argamassa de recuperação profunda e superficial, nota-se que todos os revestimentos, com exceção da argamassa AP-DO-P, foram menos permeáveis do que a argamassa referência AP-IND-RM. Este comportamento era esperado, visto que, ao se adicionarem elementos à composição das argamassas, com a função de torná-las impermeáveis, os poros são tamponados, e por esse motivo, a migração de vapor através da amostra se torna menor.

4.1.1.2 Hidrorrepelentes

A permeabilidade ao vapor de água para os hidrorrepelentes está apresentada na Figura 49, na qual se analisa um comportamento de ganho de massa diário contínuo. Com a aplicação dos hidrorrepelentes sobre o corpo de prova de argamassa referência AP-IND-RM, houve uma diminuição do fluxo de vapor passante pela amostra. Deste modo, observa-se que o revestimento HIDRO4 foi o que mais permitiu a passagem de vapor através do corpo de prova, seguido do revestimento HIDRO3 e, por conseguinte, o revestimento HIDRO1. Sendo que, o revestimento HIDRO2 se revelou ser o que possibilita a menor passagem de fluxo de vapor, sobressaindo-se sobre o revestimento que mais permite este fluxo, o HIDRO4.

Figura 49 – Ganho de massa diário dos hidrorrepelentes



Para os hidrorrepelentes, apresentam-se na Tabela 4 suas particularidades. Nela, percebe-se como os hidrorrepelentes se revelaram tornar o fluxo de vapor bem menor através da amostra, sendo que o revestimento HIDRO2 e o HIDRO4 foram os extremos e com valores bem expressivos. O revestimento HIDRO4 apresentou ser quase quatro vezes mais permeável em relação ao revestimento HIDRO2. Os demais demonstraram resultado intermediário, mas permitiram um fluxo de vapor mais que o dobro que o revestimento HIDRO2, aproximando-se mais das características apresentadas pelo hidrorrepelente HIDRO4. Nota-se, novamente, a diferença provocada pela aplicação dos hidrorrepelentes sobre a argamassa referência AP-IND-RM, chegando o revestimento HIDRO2 a diminuir em 86,69% a difusão de vapor.

Tabela 4 – Particularidades dos hidrorrepelentes

REVESTIMENTO	GANHO DE MASSA (g)	PERMEÂNCIA Λ (kg/m ² .s.Pa)	PERMEABILIDADE π (ng/m.s.Pa)	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE μ	% DE GANHO DE MASSA EM RELAÇÃO À AP-IND-RM
HIDRO2	2,26	1,16 E-10	2,31	1,67	-86,69
HIDRO1	5,52	2,68 E-10	5,36	0,72	-67,49
HIDRO3	6,99	3,62 E-10	7,24	0,54	-58,83
HIDRO4	8,78	4,57 E-10	9,14	0,42	-48,29
AP-IND-RM	16,98	9,02 E-10	18,04	0,22	-

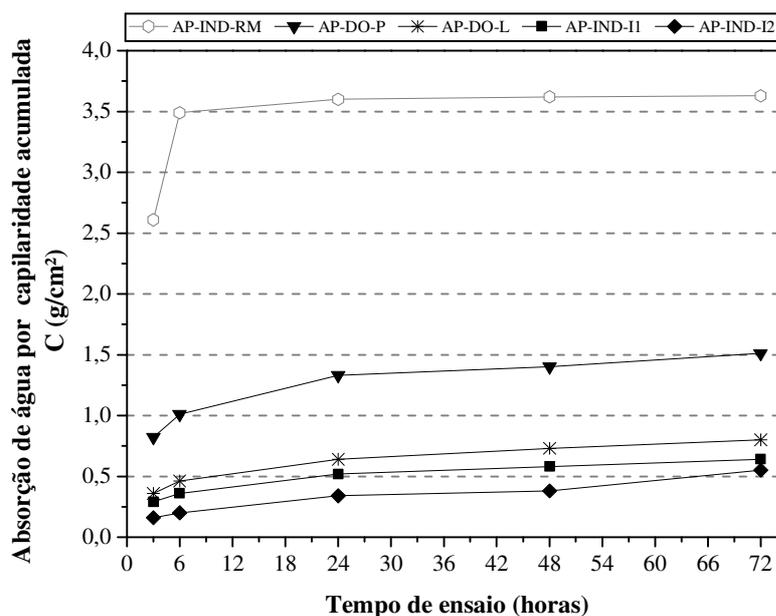
A partir da Tabela 4, pode-se dizer que os hidrorrepelentes demonstraram um desempenho à permeabilidade ao vapor d'água bem díspares entre si. Deste modo, facilmente se analisa como a película formada pelos hidrorrepelentes apresenta diferentes características, inteiramente em função de seus componentes, assim como da quantidade de demãos de hidrorrepelente utilizadas.

4.1.2 Absorção de água por capilaridade

4.1.2.1 Argamassas

A absorção de água por capilaridade das argamassas de recuperação profunda está apresentada na Figura 50. Verifica-se que todas as argamassas possuem uma absorção por capilaridade ao longo das 72 horas de ensaio bem inferior à argamassa referência AP-IND-RM, sendo que esta atinge sua saturação em 6 horas de ensaio, e após se mantém. As argamassas industrializadas AP-IND-I1 e AP-IND-I2 apresentaram os menores valores de absorção capilar, seguidos das argamassas dosadas em obra AP-DO-L e AP-DO-P, sendo esta última, entre as argamassas com hidrofugante, a que mais absorveu água por capilaridade. Observa-se que todas seguem uma mesma tendência, sendo que maior parte da absorção capilar ocorreu nas primeiras 6 horas de ensaio.

Figura 50 – Absorção de água por capilaridade acumulada para as argamassas de recuperação profunda



Na Figura 51, mostra-se a altura de ascensão capilar nas faces dos corpos de prova. No revestimento AP-IND-RM, a água atingiu a altura máxima em todas as suas faces, chegando ao topo do corpo de prova e demonstrando a sua saturação (sem registro fotográfico). Neste caso, pode-se discorrer que esta argamassa possui um diâmetro de poro pequeno por ter atingido a altura máxima, porém, em grande quantidade e grande interligação. Já para a argamassa AP-DO-P, a altura capilar foi pequena, atingindo o topo apenas na face rasada na moldagem dos corpos de prova (onde se tem maior quantidade de finos e é mais fraca em função da exsudação da água). Pode-se interpretar que o tamanho de poros de AP-DO-P é maior do que os poros de AP-IND-RM, pois não atingiu grande altura capilar, mas também podem ter grande interligação, pois absorveu bem mais água por capilaridade em relação aos demais revestimentos. A partir disso, pode-se entender o que ocorreu no ensaio de permeabilidade ao vapor d'água, onde AP-DO-P foi mais permeável do que AP-IND-RM, ou seja, provavelmente, em função do tamanho do poro ser maior, permitiu maior difusão.

Figura 51 – Altura de ascensão capilar nos corpos de prova de argamassa de recuperação profunda



Ainda, a partir da análise da Figura 51, é possível notar que as argamassas que menos absorveram água por capilaridade (AP-IND-I1 e AP-IND-I2) possuíram pequena altura de ascensão capilar, mostrando que seus poros são em pequena quantidade e pouco interligados, por isso também permitiram pouca permeabilidade ao vapor d'água. Já o revestimento AP-DO-L obteve grande altura de ascensão capilar na maioria das faces, demonstrando que contém poros mais finos e mais interligados do que os poros de AP-IND-I1 e AP-IND-I2, sendo que os valores de absorção por capilaridade foram próximos. Relacionando com o ensaio de permeabilidade ao vapor d'água, pode-se compreender porque AP-DO-L foi a menos permeável, possivelmente por possuir poros de diâmetro muito pequenos, os quais não influenciam muito na difusão de vapor.

A partir da Tabela 5, é possível analisar que as argamassas industrializadas AP-IND-I1, AP-IND-I2 e AP-DO-L absorveram em torno de 80% menos água do que a argamassa de referência AP-IND-RM. E a argamassa dosada em obra AP-DO-P absorveu quase 60% menos que a argamassa referência AP-IND-RM. Neste ensaio, constatou-se que as argamassas de recuperação profunda industrializadas são as que menos permitem a absorção de água por capilaridade.

Tabela 5 – Absorção de água por capilaridade total para as argamassas de recuperação profunda

REVESTIMENTO	AP-IND-I2	AP-IND-I1	AP-DO-L	AP-DO-P	AP-IND-RM
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE C TOTAL (g/cm ²)	0,55	0,64	0,80	1,51	3,63
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE EM RELAÇÃO AO REFERÊNCIA AP-IND-RM (%)	-84,79	-82,28	-78,07	-58,44	-

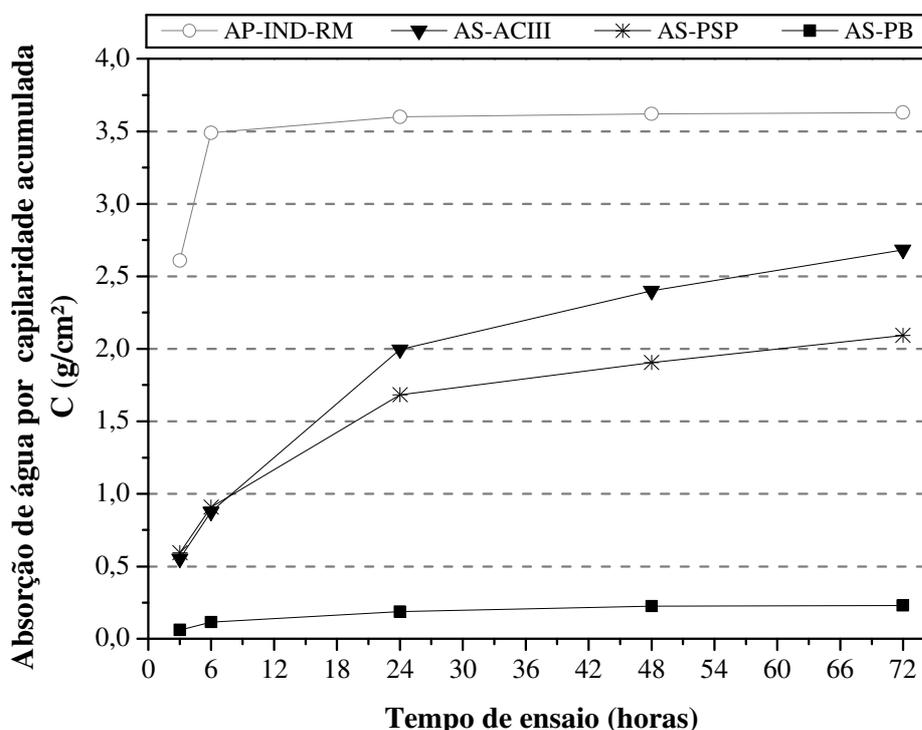
Utilizando o *software* Minitab se determinou a correlação entre os resultados de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade, a partir do método de correlação de Pearson. Deste modo, como se analisa na Tabela 6 a correlação de Person é de 0,55, mostrando que há uma relação positiva moderada entre os valores dos resultados. Percebe-se que isso se deve principalmente à alta absorção capilar de AP-IND-RM.

Tabela 6 – Correlação entre os resultados de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade das argamassas de recuperação profunda

ENSAIOS	ARGAMASSA RECUPERAÇÃO PROFUNDA					CORRELAÇÃO DE PEARSON
	AP-DO-P	AP-IN-RM	AP-IND-I1	AP-IND-I2	AP-DO-L	
Permeabilidade ao vapor de água (ng/m.s.Pa)	19,11	18,04	16,04	11,73	7,16	0,55
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	1,51	3,63	0,64	0,55	0,8	

Para as argamassas de recuperação superficial, nas quais os revestimentos foram aplicados nas faces do corpo de prova da argamassa de referência AP-IND-RM, os resultados estão apresentados na Figura 52. As argamassas colantes exibiram uma absorção capilar inicial praticamente igual, após 6h de ensaio a AS-ACIII passa a absorver uma quantidade de água maior que AS-PSP até o final das 72h. A argamassa AS-PB se destaca, sendo a que menos absorveu água por capilaridade e permaneceu praticamente estável do início ao fim do ensaio. Todas as argamassas de recuperação superficial impediram o fluxo de água por capilaridade através do corpo de prova da argamassa referência AP-IND-RM.

Figura 52 – Absorção de água por capilaridade acumulada para as argamassas de recuperação superficial



Na Tabela 7, apresenta-se a absorção de água por capilaridade total das argamassas de recuperação superficial, em que se analisa que a argamassa AS-PB reduziu aproximadamente 93% a absorção capilar da argamassa referência AP-IND-RM, enquanto AS-PSP e AS-ACIII reduziram em torno de 42% e 26% respectivamente. Pode-se constatar que a argamassa AS-PB possui poros que pouco influenciam na absorção de água por capilaridade, sendo que, de todas as argamassas, foi a que mais bloqueou a ascensão de água capilar.

Tabela 7 – Absorção de água por capilaridade total para as argamassas de recuperação superficial

REVESTIMENTO	AS-PB	AS-PSP	AS-ACIII	AP-IND-RM
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE C TOTAL (g/cm ²)	0,23	2,09	2,68	3,63
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE EM RELAÇÃO AO REFERÊNCIAAP-IND-RM (%)	-93,69	-42,32	-26,06	-

Também, apresenta-se na Tabela 8 a correlação de Pearson entre os resultados de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade. Esta correlação foi de 0,99, ou seja, existe uma ótima relação positiva entre os valores, quanto maior a permeabilidade ao vapor de água maior é a absorção capilar.

Tabela 8 – Correlação entre os resultados de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade das argamassas de recuperação superficial

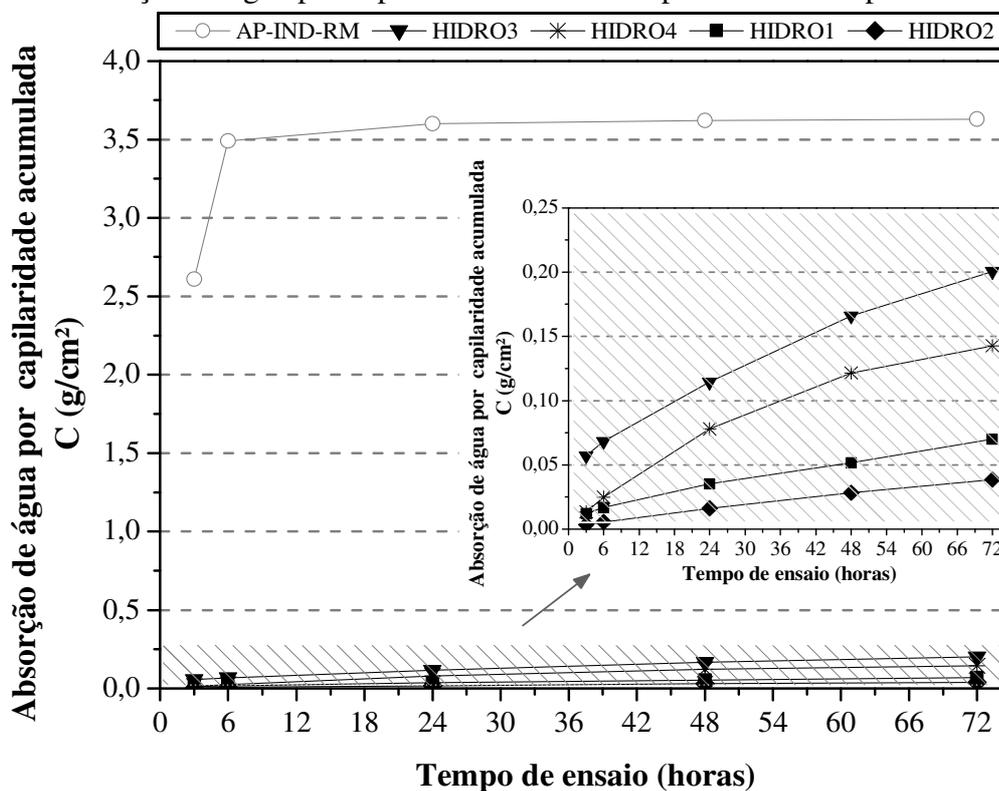
ENSAIOS	ARGAMASSA RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL			CORRELAÇÃO DE PEARSON
	AC-ACIII	AS-PSP	AS-PB	
Permeabilidade ao vapor de água (ng/m.s.Pa)	13,27	12,52	11,23	0,99
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	2,68	2,09	0,23	

Entre todas as argamassas analisadas, as de recuperação profunda demonstraram possuir menor capacidade de absorção de água por capilaridade (exceto a referência AP-IND-RM), porém a argamassa de recuperação superficial AS-PB reduziu de maneira considerável a absorção através do corpo de prova da argamassa referência AP-IND-RM. Nota-se também a diferença da ascensão capilar nas amostras, e como a estrutura influencia consideravelmente.

4.1.2.2 Hidrorrepelentes

Na Figura 53, expõe-se a absorção de água por capilaridade através dos corpos de prova da argamassa referência AP-IND-RM que apresentavam a aplicação dos hidrorrepelentes em suas faces laterais e inferior. Observa-se que todos os hidrorrepelentes restringiram consideravelmente a possibilidade da absorção de água por capilaridade nas amostras da argamassa referência AP-IND-RM. Também, vê-se que o hidrorrepelente HIDRO2 foi o que mais bloqueou o fluxo de água capilar, seguido do HIDRO1, e que HIDRO3 e HIDRO4 permitiram um pouco mais a entrada de água por capilaridade, contudo os valores são extremamente pequenos.

Figura 53 – Absorção de água por capilaridade acumulada para os hidrorrepelentes



A partir dos dados apresentados na Tabela 9, observa-se ainda mais esta redução, sendo que HIDRO2 diminuiu praticamente 99% da absorção de água através da argamassa referência AP-IND-RM. O mesmo se analisa para os demais hidrorrepelentes, os quais também reduziram de maneira elevada a absorção de AP-IND-RM.

Tabela 9 – Absorção de água por capilaridade total para os hidrorrepelentes

REVESTIMENTO	HIDRO2	HIDRO1	HIDRO4	HIDRO3	AP-IND-RM
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE C TOTAL (g/cm ²)	0,04	0,07	0,14	0,20	3,63
ABSORÇÃO DE ÁGUA POR CAPILARIDADE EM RELAÇÃO AO REFERÊNCIAAP-IND-RM (%)	-98,94	-98,07	-96,07	-94,47	-

Para os hidrorrepelentes como mostrado na Tabela 10, a correlação de Pearson é de 0,781 entre os valores dos resultados de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade, demonstrando que há uma boa relação positiva. O hidrorrepelente HIDRO3 apresentou uma absorção de água por capilaridade um pouco maior que HIDRO4, sendo por esse motivo que a correlação não é ótima.

Tabela 10 – Correlação entre os resultados de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade dos hidrorrepelentes

ENSAIOS	HIDORREPELENTES				CORRELAÇÃO DE PEARSON
	HIDRO4	HIDRO3	HIDRO1	HIDRO2	
Permeabilidade ao vapor de água (ng/m.s.Pa)	9,14	7,24	5,36	2,31	0,781
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	0,14	0,20	0,07	0,04	

De todos os revestimentos estudados para o ensaio de absorção capilar, os hidrorrepelentes foram os que mais se destacaram, demonstrando que a película formada na superfície da argamassa é capaz de bloquear a entrada de água líquida. Após, as argamassas industrializadas foram as que mais se sobressaíram.

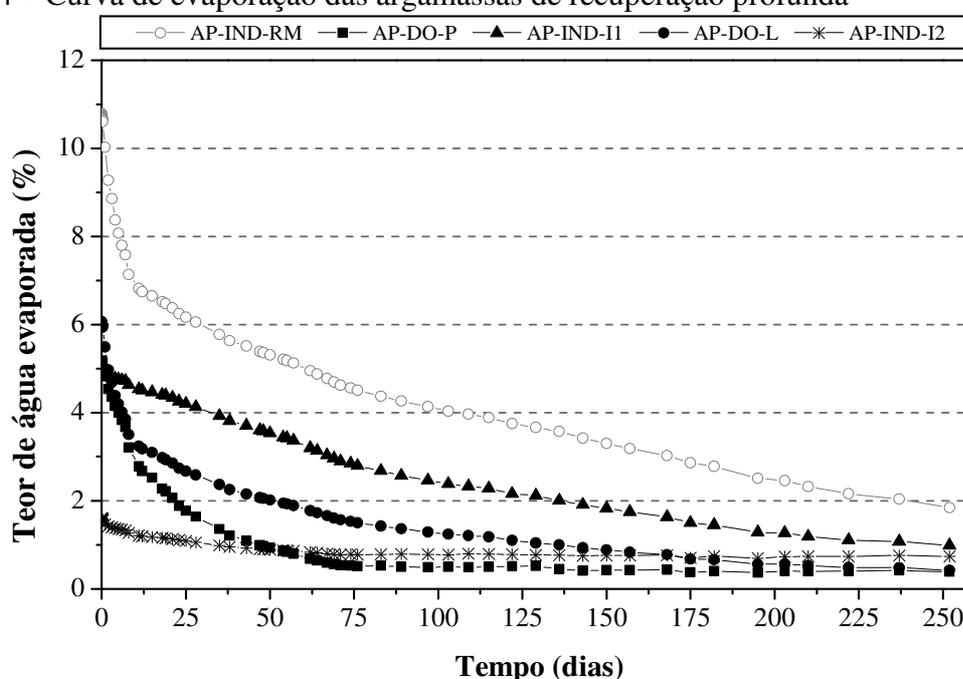
4.1.3 Evaporação

4.1.3.1 Argamassas

A Figura 54 ilustra as curvas de evaporação dos revestimentos de argamassa de recuperação profunda, mostrando a variação do teor de água evaporada a partir da massa seca em variação do tempo. Observa-se que, o tempo de evaporação é influenciado pela quantidade de água absorvida por capilaridade, e que nas primeiras horas foi mais expressiva. No ensaio de permeabilidade ao vapor de água, o revestimento AP-DO-P foi o que obteve a maior

difusão de vapor, assim, no ensaio de evaporação, visualiza-se a partir da curva sua facilidade em equilibrar a umidade interna com a diminuição do teor de água. Já as argamassas AP-IND-I1 e AP-DO-L apresentaram maior dificuldade de expulsar a água absorvida. A argamassa AP-IND-I2 obteve baixa absorção capilar, deste modo, em pouco tempo, conseguiu atingir o equilíbrio interno, mostrando que, além de ser estanque à água, em comparação com as demais argamassas, a evaporação deste teor de água seria mais rápida. E a argamassa referência AP-IND-RM, em função do alto teor de água absorvida, até o encerramento do ensaio, ainda não havia se estabilizado, mas a velocidade de perda de água é maior, assim, chegou com o teor de água no final do ensaio próximo das demais argamassas.

Figura 54 – Curva de evaporação das argamassas de recuperação profunda



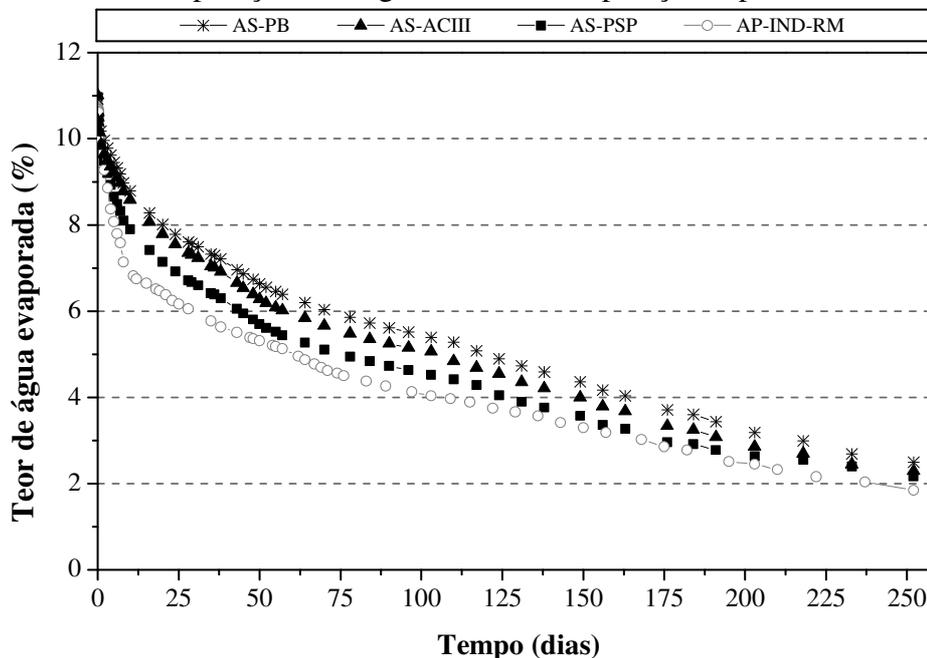
Na Tabela 11, apresentam-se as particularidades das argamassas de recuperação profunda, sendo possível visualizar a quantidade de água absorvida, o teor de água inicial e final. Deste modo, vê-se a diferença dos teores de água em que AP-IND-RM se iniciou com 10,78% e finalizou com 1,84%. Também, observa-se que AP-DO-P atingiu o menor teor de água final com 0,38%, e que AP-IND-I1 obteve maior teor inicial de 4,86% do que AP-IND-I2 de 1,61%, mas atingiu teor de água final próximo desta. Todos os revestimentos de recuperação profunda, com exceção de AP-IND-RM, atingiram o equilíbrio interno.

Tabela 11 – Particularidades das argamassas de recuperação profunda no ensaio de evaporação

REVESTIMENTO	MASSA SECA (g)	MASSA ÚMIDA (g)	QUANTIDADE DE ÁGUA ABSORVIDA (g)	TEOR DE ÁGUA INICIAL (%)	TEOR DE ÁGUA FINAL (%)
AP-IND-RM	484,00	536,19	52,19	10,78	1,84
AP-IND-I1	432,83	453,86	21,03	4,86	0,98
AP-DO-L	552,21	585,70	33,49	6,06	0,42
AP-DO-P	495,53	521,20	25,68	5,18	0,38
AP-IND-I2	512,58	520,82	8,24	1,61	0,73

Para as argamassas de recuperação superficial, apresentam-se, na Figura 55, as curvas de evaporação. Analisa-se que todas as argamassas diminuíram a capacidade de perda de água de evaporação através do corpo de prova da argamassa referência AP-IND-RM, sendo que a argamassa AS-PB foi a que mais bloqueou a passagem assim como ocorreu no ensaio de permeabilidade de vapor de água, seguida pelas argamassas AS-PSP e AS-ACIII. Ou seja, aumentariam a probabilidade de ocorrer uma manifestação patológica, pois estariam impedindo a saída da água.

Figura 55 – Curva de evaporação das argamassas de recuperação superficial



Da mesma forma, na Tabela 12, visualizam-se as particularidades das argamassas de recuperação superficial. A argamassa de referência atingiu um teor de água final de 1,84%,

enquanto AS-PSP atingiu 2,16%, AS-ACIII 2,28% e AS-PB 2,49%, com uma diferença em torno de 0,6% no teor de água final em relação às argamassas de recuperação superficial.

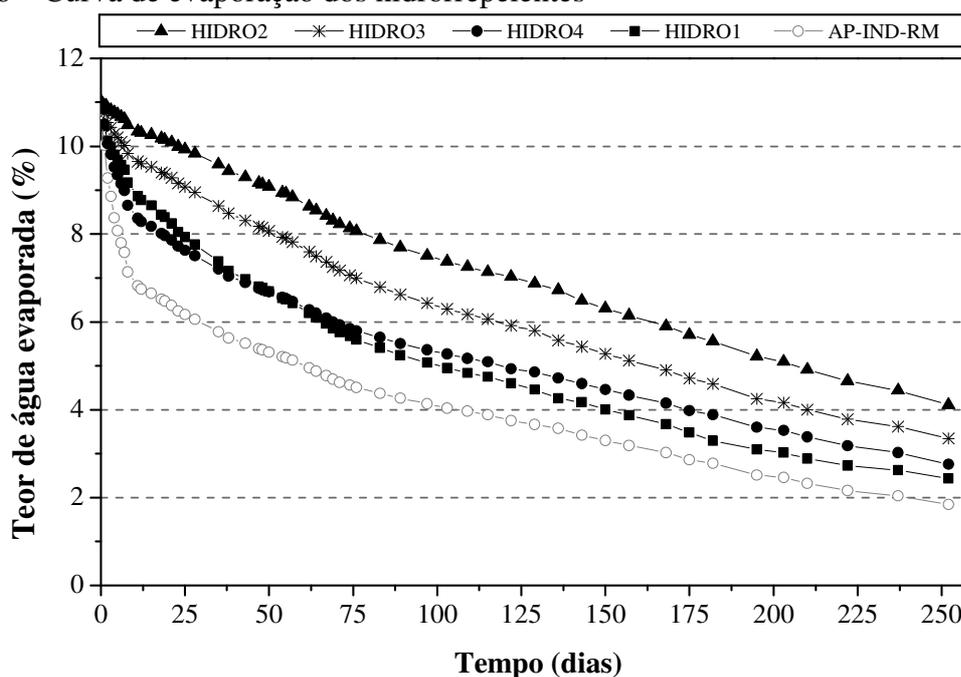
Tabela 12 – Particularidades das argamassas de recuperação superficial no ensaio de evaporação

REVESTIMENTO	MASSA SECA (g)	MASSA ÚMIDA (g)	QUANTIDADE DE ÁGUA ABSORVIDA (g)	TEOR DE ÁGUA INICIAL (%)	TEOR DE ÁGUA FINAL (%)
AP-IND-RM	484,00	536,19	52,19	10,78	1,84
AS-PSP	425,43	472,09	46,66	10,97	2,16
AS-ACIII	428,94	476,11	47,17	11,01	2,28
AS-PB	416,31	461,74	45,43	10,92	2,49

4.1.3.2 Hidrorrepelentes

Na Figura 56, é possível analisar o comportamento das curvas de evaporação dos hidrorrepelentes, com referência na argamassa AP-IND-RM. Observa-se que todos os hidrorrepelentes impediram a evaporação do teor de água presente internamente na argamassa, principalmente HIDRO2, que também foi o que mais bloqueou a difusão de vapor. Este impedimento de saída da água foi maior do que as argamassas de recuperação superficial, demonstrando o cuidado quando o revestimento de argamassa estiver saturado com água, pois há a dificuldade de sua expulsão.

Figura 56 – Curva de evaporação dos hidrorrepelentes



A partir da Tabela 13, analisam-se as particularidades dos hidrorrepelentes no ensaio de evaporação. É possível perceber nos teores de água finais o quanto a saída de água foi bloqueada, sendo que HIDRO2 apresentou um teor de água de 4,11%, mais que o dobro do teor de água final de AP-IND-RM.

Tabela 13 – Particularidades dos hidrorrepelentes no ensaio de evaporação

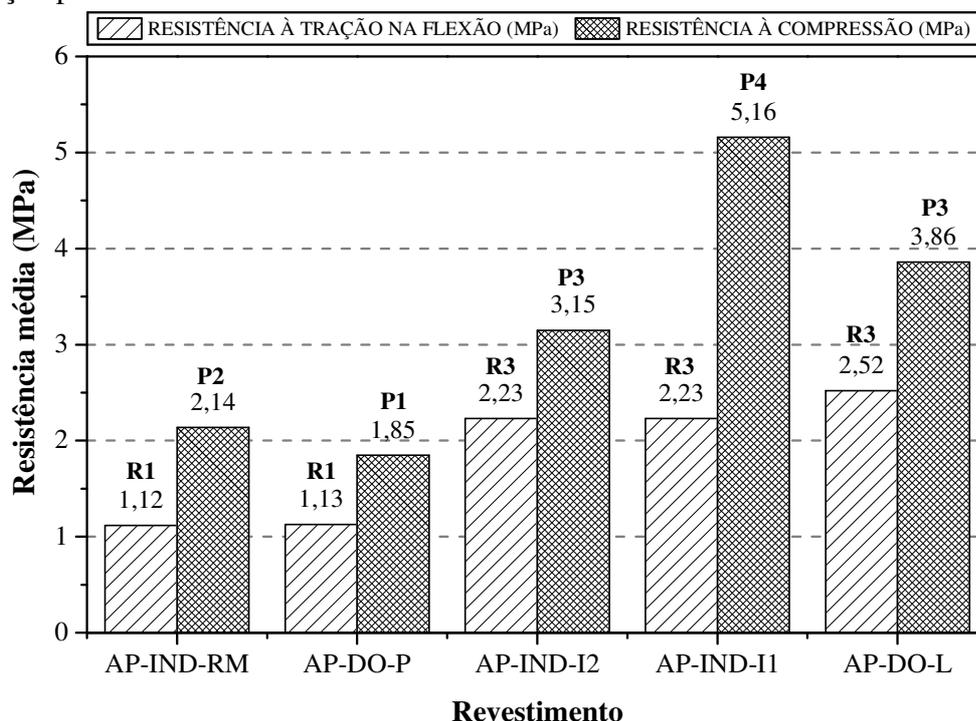
REVESTIMENTO	MASSA SECA (g)	MASSA ÚMIDA (g)	QUANTIDADE DE ÁGUA ABSORVIDA (g)	TEOR DE ÁGUA INICIAL (%)	TEOR DE ÁGUA FINAL (%)
AP-IND-RM	484,00	536,19	52,19	10,78	1,84
HIDRO1	425,33	471,63	46,30	10,89	2,44
HIDRO4	469,97	521,41	51,44	10,95	2,76
HIDRO3	435,55	483,30	47,75	10,96	3,35
HIDRO2	419,73	465,92	46,19	11,01	4,11

Deste modo, percebe-se que os hidrorrepelentes estariam propiciando uma maior facilidade do surgimento de manifestações patológicas. Mas, tratando-se de fachadas, a maior parte da absorção de água ocorre pela incidência da água da chuva, e os hidrorrepelentes estariam bloqueando esta entrada, impedindo a saturação do revestimento de argamassa, e da mesma maneira, não tendo o problema com a secagem da água. Entretanto, se a água atuante fosse causada por componentes internos da edificação, ocorreria a dificuldade de secagem e aumentaria a probabilidade de aparecer anomalias.

4.1.4 Resistência à tração na flexão e à compressão

Na Figura 57, apresentam-se os resultados para o ensaio de resistência à tração na flexão e à compressão para as argamassas de recuperação profunda. Os revestimentos AP-IND-I1, AP-IND-I2 e AP-DO-L obtiveram as maiores resistências tanto à tração quanto à compressão. E os revestimentos AP-IND-RM e AP-DO-P apresentaram menores resistências, cerca de 50% menos que as demais argamassas. Além das resistências, a Figura 43 também indica a classificação das argamassas conforme a NBR 13281/2005.

Figura 57 – Resistência média à tração na flexão e à compressão das argamassas de recuperação profunda



Na Tabela 14, apresenta-se a correlação de Pearson entre os valores dos resultados de resistência à tração na flexão e à compressão com os valores dos ensaios de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade. As resistências à tração na flexão e à compressão tiveram boa correlação positiva de 0,81. A correlação entre a resistência à tração na flexão com a permeabilidade ao vapor de água e a absorção de água por capilaridade foi boa e negativa de -0,853 e -0,795 respectivamente, ou seja, quanto maior a permeabilidade e a absorção capilar menor é a resistência. Da mesma forma se observa a correlação com a resistência a compressão, porém, a correlação de Pearson é moderada e influenciada pela alta resistência de AP-IND-I1 em relação às demais argamassas.

Tabela 14 – Correlação entre os resultados de resistência à tração na flexão e à compressão com a permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade

ENSAIOS	ARGAMASSA RECUPERAÇÃO PROFUNDA					CORRELAÇÃO DE PEARSON	
	AP-DO-P	AP-IN-RM	AP-IND-I1	AP-IND-I2	AP-DO-L	RESIST. À TRAÇÃO NA FLEXÃO	RESIST. À COMPRESSÃO
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,13	1,12	2,23	2,23	2,52	0,81	
Resistência à compressão (MPa)	1,85	2,14	5,16	3,15	3,86		
Permeabilidade ao vapor de água (ng/m.s.Pa)	19,11	18,04	16,04	11,73	7,16	-0,853	-0,439
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	1,51	3,63	0,64	0,55	0,8	-0,795	-0,63

As resistências dependem diretamente não só da quantidade de água utilizada, mas também de sua composição. A argamassa AP-DO-P que obteve as menores resistências foi confeccionada no traço 1:6, ou seja, a quantidade de cimento era pequena, ocasionando conseqüentemente uma baixa resistência. Ao contrário, a argamassa AP-DO-L, para sua dosagem, utilizou o traço 1:4, elevando a resistência. As demais, argamassas industrializadas, possuem um maior controle dos materiais e também maior quantidade de cimento, bem como uma quantidade de água fixada a ser utilizada, tornando as resistências maiores. Também, a partir dos ensaios de permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade, constatou-se que as argamassas AP-IND-I1, AP-IND-I2 e AP-DO-L possuem menor porosidade do que as argamassas referências AP-IND-RM e AP-DO-P.

4.2 ENSAIOS *IN LOCO*

Os ensaios *in loco* para a avaliação do desempenho à estanqueidade à água dos revestimentos são compreendidos pelo ensaio de permeabilidade à água líquida, absorção e evaporação da água, termografia e resistência de aderência à tração. Os resultados e as observações de cada ensaio são relatados a seguir para os revestimentos estudados.

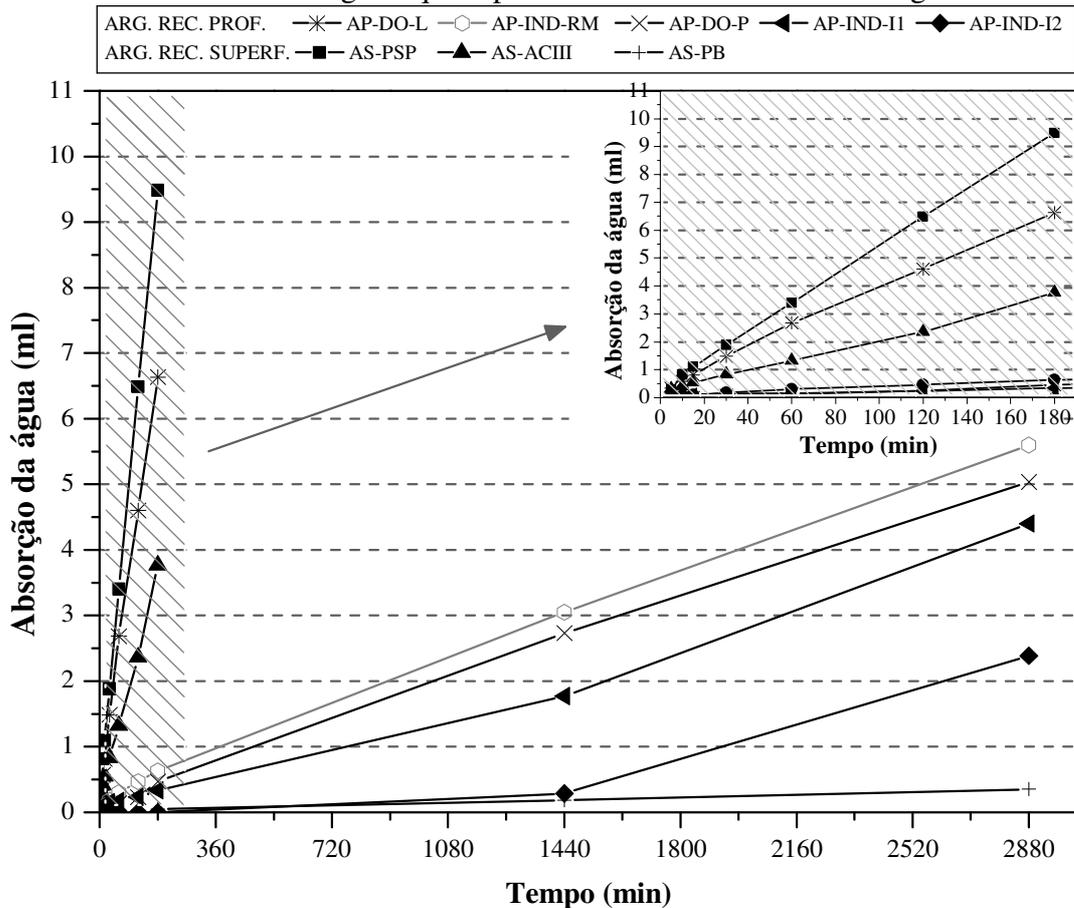
4.2.1 Permeabilidade à água líquida

Obteve-se grande dificuldade para a realização deste ensaio em função das condições climáticas. Inicialmente, nos primeiros meses de idade, o período de ocorrência de chuvas foi muito alto, não havendo tempo hábil para a execução do ensaio, pois era necessário esperar o revestimento “secar” e após iniciar o ensaio, sendo que, neste tempo, ocorria precipitação, acarretando o descarte do ensaio. Após este período, houve a dificuldade de se obter dias com a mesma temperatura e umidade relativa do ar, sendo que, algumas vezes, o ensaio também foi interrompido pela precipitação. Conseguiu-se realizá-lo em todos os revestimentos mantendo as mesmas condições entre os meses de fevereiro e março de 2017, ou seja, de 6 a 7 meses da data de aplicação dos revestimentos.

Para este ensaio, nos revestimentos hidrorrepelentes, a absorção de água através da coluna d'água com pressão de 92 mm foi nula, demonstrando a grande capacidade de estanqueidade à água destes revestimentos. Portanto, serão apresentados os resultados apenas para os revestimentos em argamassa.

Na Figura 58, expõem-se os resultados das argamassas de recuperação profunda e superficial, em que se observa que os revestimentos de argamassa de recuperação superficial AS-PSP e AS-ACIII, e o revestimento de argamassa de recuperação profunda AP-DO-L obtiveram tempo de ensaio reduzido para 180 minutos. É notável a inviabilidade de leitura aos 1440 minutos, pois toda a água contida no cachimbo seria permeada pelo revestimento, sendo que os revestimentos AS-PSP e AP-DO-L apresentaram uma permeabilidade de água superior a 4 ml aos 180 minutos e o revestimento AS-ACIII atingiu neste tempo 3,8 ml. Diferentemente, os demais revestimentos permitiram a avaliação da permeabilidade à água com tempo de ensaio de 2880 minutos, mostrando um melhor comportamento diante do desempenho à estanqueidade.

Figura 58 – Permeabilidade à água líquida pelo método do cachimbo das argamassas



Analisa-se que os revestimentos de argamassa de recuperação profunda, exceto AP-DO-L, aos 1440 minutos, permitiram uma permeabilidade de água de no máximo 3 ml, e aos 2880 minutos, somente o revestimento AP-IND-I2 não apresentou uma permeabilidade superior aos 4 ml, demonstrando sua boa capacidade de bloquear a entrada de água no revestimento. As argamassas de recuperação profunda que obtiveram melhor desempenho foram as argamassas industrializadas, visto que possuem uma dosagem controlada dos materiais e aditivos, ao contrário das argamassas dosadas em obra onde o controle de produção é baixo e menos assertivo. Diante da capacidade de permeabilidade à água líquida, a argamassa que chamou a atenção foi a AP-DO-L, que mesmo contendo aditivo hidrofugante possibilitou uma penetração de água de 6,6 ml já nos 180 minutos de ensaio. Todas as argamassas com exceção da AP-DO-L apresentaram permeabilidade inferior ao da argamassa referência AP-IND-RM.

Já para os revestimentos de recuperação superficial, a argamassa AS-PB exibiu, inclusive dentre todos os revestimentos de argamassa, o melhor desempenho de permeabilidade à água líquida, chegando ao final do ensaio com uma permeabilidade de água

de 0,4 ml. Já as argamassas colantes tiveram o menor desempenho perante a permeabilidade à água líquida.

Na Tabela 15, apresenta-se a quantidade de água que permeou nos revestimentos para cada tempo de leitura do ensaio. Deste modo, verifica-se que os revestimentos que obtiveram melhor desempenho AP-IND-I2 e AS-PB permitiram apenas a permeabilidade de água praticamente após 24 horas (1440 minutos).

Tabela 15 – Quantidade de água permeada nos revestimentos de argamassa

REVESTIMENTO	ÁGUA PERMEADA (ml)								
	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	180 min	1440 min	2880 min
AS-PSP	0,3	0,8	1,1	1,9	3,4	6,5	9,5	-	-
AP-DO-L	0,3	0,6	0,8	1,5	2,7	4,6	6,6	-	-
AS-ACIII	0,3	0,4	0,6	0,8	1,3	2,4	3,8	-	-
AP-IND-RM	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	3,1	5,6
AP-DO-P	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,5	2,7	5,0
AP-IND-I1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	1,8	4,4
AP-IND-I2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	2,4
AS-PB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4

Também, foi possível calcular o coeficiente de absorção, a absorção de água e a porcentagem de água absorvida pelos revestimentos no tempo final de ensaio em relação ao mesmo tempo de ensaio com a argamassa de referência AP-IND-RM, obtendo-se os resultados da Tabela 16. Percebe-se como AS-PSP, AP-DO-L e AS-ACIII permitiram maior permeabilidade de água líquida, chegando aos 180 minutos de ensaio com uma absorção de 1400%, 946,8% e 495,3% a mais do que a argamassa AP-IND-RM neste mesmo tempo. E todos os demais obtiverem menor absorção de água em relação à referência AP-IND-RM, principalmente o revestimento de recuperação superficial AS-PB em torno de 94%.

Tabela 16 – Coeficiente de absorção e absorção de água dos revestimentos de argamassa

REVESTIMENTO	AS-PSP	AP-DO-L	AS-ACIII	AP-IND-RM	AP-DO-P	AP-IND-I1	AP-IND-I2	AS-PB
Tempo total de ensaio (min)	180	180	180	2880	2880	2880	2880	2880
Água permeada média total (ml)	9,5	6,6	3,8	5,6	5,0	4,4	2,4	0,4
Coeficiente de absorção [kg/(m ² x h ^{1/2})]	8,9	6,2	3,5	1,3	1,2	1,0	0,6	0,1
Absorção de água (kg/m ²)	15,4	10,8	6,1	9,1	8,2	7,1	3,9	0,6
% de absorção de água em relação à referência AP-IND-RM no tempo t	1400	946,8	495,3	-	-10,2	-21,4	-57,5	-93,8

A correlação de Pearson para as argamassas de recuperação profunda se encontra na Tabela 17. Como AP-DO-L obteve grande permeabilidade e dispersa em relação às demais argamassas, apresenta-se uma correlação com e sem os valores de permeabilidade a água líquida de AP-DO-L. Deste modo, verifica-se que existe uma ótima correlação positiva com a permeabilidade ao vapor de água sem AP-DO-L, ou seja, quanto maior a permeabilidade ao vapor de água maior é a permeabilidade a água líquida. E da mesma forma ocorre a correlação com a absorção de água por capilaridade onde é boa e positiva. Também, há uma ótima correlação e negativa com a resistência à tração na flexão, apontando que quanto menor a resistência maior a permeabilidade a água líquida. E para a resistência à compressão se observa uma baixa correlação e negativa, em função de AP-IND-I1 apresentar alta resistência.

Tabela 17 – Correlação entre os resultados de permeabilidade a água líquida com a permeabilidade ao vapor de água, absorção de água por capilaridade e resistência à tração na flexão e à compressão das argamassas de recuperação profunda

ENSAIOS	ARGAMASSA RECUPERAÇÃO PROFUNDA					CORRELAÇÃO DE PEARSON	
	AP-DO-P	AP-IN-RM	AP-IND-I1	AP-IND-I2	AP-DO-L	COM AP-DO-L	SEM AP-DO-L
Permeabilidade a água líquida (kg/m ²)	8,2 (2880 min)	9,1 (2880 min)	7,1 (2880 min)	3,9 (2880 min)	10,8 (180 min)	-	-
Permeabilidade ao vapor de água (ng/m.s.Pa)	19,11	18,04	16,04	11,73	7,16	0,770	0,955
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	1,51	3,63	0,64	0,55	0,8	0,203	0,751
Resistência à tração na flexão (MPa)	1,13	1,12	2,23	2,23	2,52	-0,497	-0,804
Resistência à compressão (MPa)	1,85	2,14	5,16	3,15	3,86	0,221	-0,339

E para as argamassas de recuperação superficial se apresenta na Tabela 18 a correlação de Pearson. Vê-se que existe uma correlação moderada e positiva tanto para a permeabilidade ao vapor de água quanto para a absorção de água por capilaridade em relação a permeabilidade a água líquida, ou seja, é maior tanto quanto forem estes. E esta correlação foi influenciada pela alta permeabilidade a água líquida de AS-PSP.

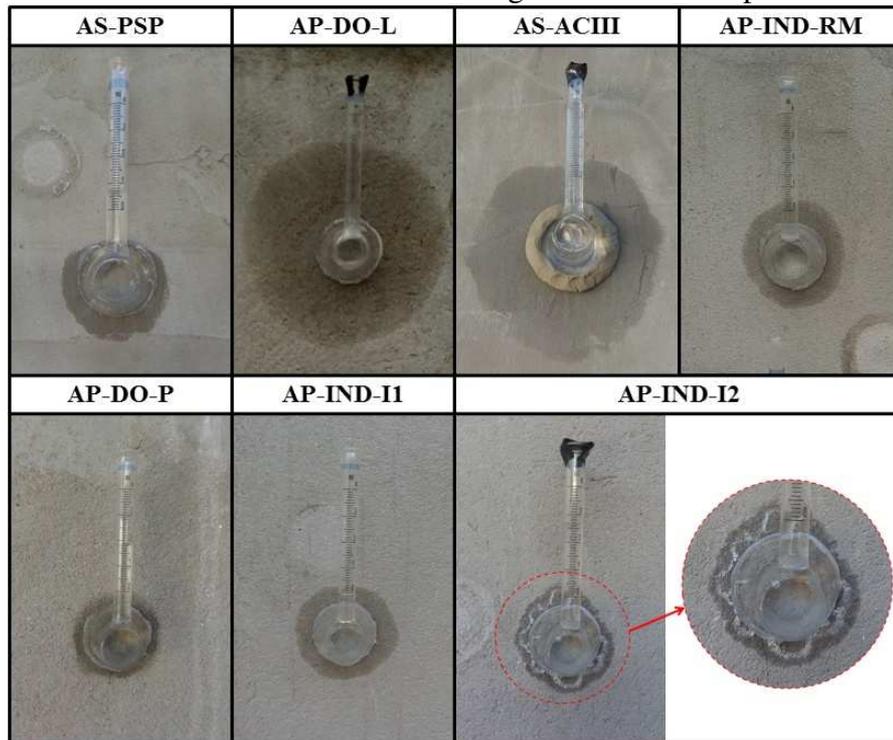
Tabela 18 – Correlação entre os resultados de permeabilidade a água líquida com a permeabilidade ao vapor de água e absorção de água por capilaridade das argamassas de recuperação superficial

ENSAIOS	ARGAMASSA RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL			CORRELAÇÃO DE PEARSON
	AC-ACIII	AS-PSP	AS-PB	
Permeabilidade a água líquida (kg/m ²)	6,1 (180 min)	15,4 (180 min)	0,6 (2880 min)	-
Permeabilidade ao vapor de água (ng/m.s.Pa)	13,27	12,52	11,23	0,524
Absorção de água por capilaridade (g/cm ²)	2,68	2,09	0,23	0,637

A partir deste ensaio, percebe-se como a pressão da gravidade influencia no escoamento da água, diferentemente do ensaio de absorção por capilaridade no qual ocorre a percolação da água através de pressão capilar, ou seja, o fluxo de água acontece mais lentamente e depende ainda mais do diâmetro dos poros. Os revestimentos que permearam mais água líquida, provavelmente, possuem uma maior quantidade de poros interligados aumentando o fluxo da água, ao contrário dos demais.

Ainda, durante os ensaios, observaram-se certas peculiaridades nos revestimentos. Na Figura 59, observa-se como se caracterizou o manchamento dos revestimentos em argamassa pela permeabilidade da água durante o ensaio. Nota-se que os revestimentos AP-DO-L e AS-ACIII tiveram um diâmetro de manchamento maior em comparação com os demais. Os revestimentos AS-PSP, AP-IND-RM e AP-IND-I1 foram semelhantes em relação ao tipo de mancha causada pela permeabilidade da água. E o revestimento AP-DO-P foi o que menos causou um manchamento na superfície. Já o revestimento AP-IND-I2 formou eflorescência em sua superfície já nos 1440 minutos de ensaio, mostrando que os materiais utilizados na sua dosagem têm presença de sais, tornando-se um revestimento favorável para o surgimento de uma manifestação patológica. Para a argamassa AS-PB, como a quantidade de água penetrada no revestimento foi muito pequena, não se observou o manchamento de água em sua superfície.

Figura 59 – Manchamento nos revestimentos em argamassa devido à permeabilidade da água



Também, para os hidrorrepelentes, como mostrado na Figura 60, verifica-se que, ao retirar o cachimbo fixado sobre o revestimento, houve o destacamento da pintura em todos os revestimentos (o círculo em vermelho na Figura 60 demonstra o local em que o cachimbo estava fixado). O revestimento HIDRO1 foi o que menos se destacou da parede, seguido do revestimento HIDRO2. Já para os revestimentos HIDRO3 e HIDRO4 houve, além do destacamento, um descolamento do hidrorrepelente. Isto se deve à propriedade elástica do material, sendo que estes se dilatam com o aumento da temperatura, e do contrário, com a diminuição da temperatura se tornam mais rígidos. Como o ensaio ocorreu em dias em que a temperatura estava em 24°C, os hidrorrepelentes HIDRO3 e HIDRO4 estavam em um estado mais elástico do que rígido, facilitando este descolamento do revestimento de argamassa. Também, este fato pode ter contribuição da aplicação do fundo preparador influenciando na aderência, o qual permitiu maior resistência ao descolamento para HIDRO1 e HIDRO2.

Figura 60 – Destacamento da pintura na retirada dos cachimbos



4.2.2 Ensaio empírico de absorção e evaporação da água

Este ensaio foi realizado em todos os revestimentos de argamassa, em que a temperatura atmosférica era de 24,7 °C e a umidade relativa do ar estava em 62,1 %, com idade média dos revestimentos de dois meses. Como visto no ensaio de permeabilidade à água líquida pelo método do cachimbo, os revestimentos hidrorrepelentes não absorvem a água, portanto, da mesma maneira, neste ensaio de absorção e evaporação da água, o líquido quando escorre pelo revestimento não é absorvido por ele. Por esse motivo, não se apresenta resultados deste ensaio para os hidrorrepelentes.

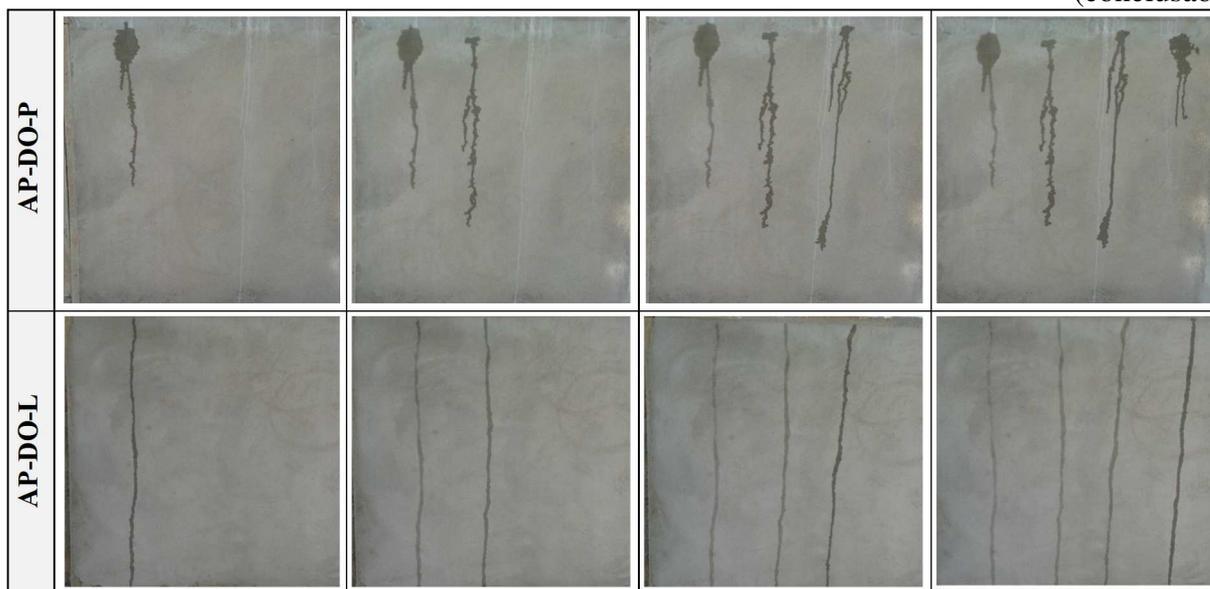
As argamassas de recuperação profunda podem ser analisadas qualitativamente a partir das imagens das quedas de água apresentadas no Quadro 13. Observa-se que os revestimentos AP-IND-I1 e AP-DO-L possuem um mesmo comportamento, a queda da água ocorre de forma retilínea do início ao fim. Já os demais revestimentos apresentam a forma de absorção bem distinta. Durante o ensaio, analisou-se que a configuração da absorção das quedas de água no revestimento AP-IND-RM, foi influenciada pela existência de fissuras,

permitindo a percolação da água. Nos revestimentos AP-IND-I2 e AP-DO-P se observou que a forma de espalhamento pode ter sido influenciada pela rugosidade e acabamento da superfície do revestimento. Neste caso, AP-IND-I2 absorveu, primeiramente, de forma retilínea e, após, houve o espalhamento na superfície, o contrário ocorreu em AP-DO-P.

Quadro 13 – Absorção e evaporação da água para as argamassas de recuperação profunda
(continua)

REV	ARGAMASSAS DE RECUPERAÇÃO PROFUNDA			
	QUEDA 1	QUEDA 2	QUEDA 3	QUEDA 4
AP-IND-RM				
AP-IND-I1				
AP-IND-I2				

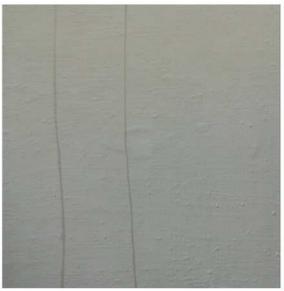
Quadro 13 – Absorção e evaporação da água para as argamassas de recuperação profunda
(conclusão)



Vê-se que a rugosidade dos revestimentos interfere na forma da queda e espalhamento da água. Quanto mais rugosa for a superfície maior a probabilidade de depósito de partículas de sujeira. Também, há grande influência de como a água da chuva se distribui e escorre pelo revestimento da fachada.

Para os revestimentos de recuperação superficial, é apresentada, no Quadro 14, sua forma de queda e espalhamento da água. Para o revestimento AS-PB, as quedas de água foram retilíneas e o espalhamento foi praticamente o próprio diâmetro da gota, notou-se que a água da queda escorreu pela superfície sem ser absorvida, apenas “molhando” o revestimento. A argamassa colante AS-ACIII obteve queda praticamente retilínea, espalhando-se em algumas fissuras. E o revestimento AS-PSP, ao se aplicar às quedas de água, apresentou um espalhamento mais concentrado, sendo absorvido de imediato pela superfície do revestimento.

Quadro 14 – Absorção e evaporação da água para as argamassas de recuperação superficial

REV	ARGAMASSAS DE RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL			
	QUEDA 1	QUEDA 2	QUEDA 3	QUEDA 4
AS-PB				
AS-ACIII				
AS-PSP	-	-	-	

Em cada queda, foram medidos sua altura e seu espalhamento na superfície, e também o tempo em que visualmente se observou o desaparecimento da mancha de água no revestimento, e a área de manchamento foi determinada com auxílio do *software* AutoCAD. Estes valores estão apresentados na Tabela 19, notando que AS-PB foi o que menos demorou para evaporar a água, no entanto, como foi o revestimento mais impermeável à água líquida, pode-se dizer que essa evaporação se deu pela baixa absorção do revestimento e pela ação das variações climáticas. Em seguida, AS-PSP, AP-DO-L e AS-ACIII confirmam seu comportamento no ensaio do cachimbo, sendo percebida a evaporação da água em tempos próximos e menores que os demais. Porém, os revestimentos AP-IND-I2, AP-IND-I1, AP-DO-P e AP-IND-RM, tiveram resultados opostos ao do cachimbo, que pode ser atribuído pela forma de espalhamento na superfície e diferenças na porosidade superficial.

Tabela 19 – Distância absorvida, largura de espalhamento e tempo médio de evaporação da água nos revestimentos de argamassa

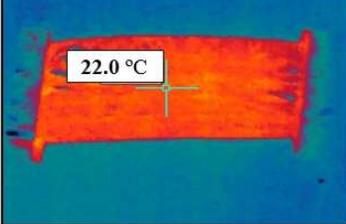
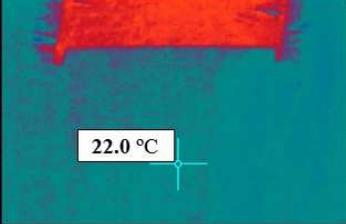
Revestimento	Distância absorvida d (cm)	Largura de espalhamento de absorção lm (cm)	Área de espalhamento da água absorvida (cm ²)	Tempo médio de evaporação t (min)
AS-PB	100,0	0,5	65	00:14:26
AS-PSP	35 - 45	0,5 - 5	51	00:19:03
AP-DO-L	100,0	0,9 - 2,5	126	00:20:10
AS-ACIII	100,0	0,3 - 2,5	82	00:24:14
AP-IND-I2	54 - 100	1 - 7,5	314	00:27:23
AP-IND-I1	100,0	0,4 - 0,8	71	00:31:02
AP-DO-P	28 - 74	0,7 - 8	142	00:38:44
AP-IND-RM	49 - 100	0,8 - 6,5	141	00:39:26

Este ensaio mostrou que uma simples queda de água sobre o revestimento pode corroborar seu comportamento diante da permeabilidade à água, identificando sua facilidade de devolver a água absorvida para o ambiente externo. Porém, verificou-se, durante o ensaio, que esta absorção e evaporação podem ser influenciadas pela rugosidade do revestimento, e claro, pela fissuração existente.

4.2.3 Termografia

Anteriormente à execução do ensaio, determinou-se a emissividade de cada revestimento através das orientações da ISO 18434-1 (ISO, 2008). Conforme a Figura 61, uma fita adesiva preta foi colada sobre a superfície do revestimento, e após a temperatura da fita entrar em equilíbrio com a temperatura do revestimento, registrou-se a temperatura com a câmera térmica na superfície da fita. Posteriormente, a câmera térmica foi focada em uma área adjacente à fita, registrando a temperatura na superfície do revestimento, e alterando o valor da emissividade até a superfície do revestimento atingir a mesma temperatura da superfície da fita.

Figura 61 – Ensaio e resultado de emissividade para cada revestimento

TEMPERATURA ATM.: 28 °C UMIDADE REL. DO AR: 19% EMISSIVIDADE FITA: 1 TEMPERATURA SUP. FITA: 22 °C	TEMPERATURA ATM.: 28 °C UMIDADE REL. DO AR: 19% EMISSIVIDADE REV.: 0,94 TEMPERATURA SUP. REV.: 22 °C	REVESTIMENTO	EMISSIVIDADE
		HIDRO1	0,92
		HIDRO2	0,93
		HIDRO3	0,91
		HIDRO4	0,92
		AS-PSP	0,95
		AS-ACIII	0,96
		AS-PB	0,92
		AP-IND-RM	0,94
		AP-IND-I1	0,93
		AP-IND-I2	0,93
		AP-DO-L	0,95
		AP-DO-P	0,93

O ensaio foi realizado no mesmo dia em todos os revestimentos, registrando as imagens termográficas de manhã, ao meio-dia e à tarde, com intervalo de 4 horas entre elas. Na condição “seco”, pela manhã, a temperatura atmosférica era de 18°C e a umidade relativa do ar de 72%; ao meio-dia, a temperatura atmosférica se alterou para 31°C e a umidade relativa do ar para 47%; e à tarde, a temperatura atmosférica ficou em 30 °C e a umidade relativa do ar em 55%. Já na condição “úmido”, as condicionantes atmosféricas tiveram pouca variabilidade durante o dia, sendo que, pela manhã, a temperatura atmosférica era de 21°C e a umidade relativa do ar era de 66%; ao meio-dia, houve um pequeno aumento na temperatura atmosférica para 23°C, sendo que a umidade relativa do ar teve um decréscimo para 57%; e à tarde, a temperatura atmosférica estava em 24°C, com uma umidade relativa do ar de 56%.

Na Figura 62, é apresentado o resultado do ensaio de termografia para os revestimentos hidrorrepelentes. Na condição “seco”, observa-se que a temperatura superficial dos revestimentos era praticamente a mesma nas três medições, tornando-se maiores conforme houve o aumento da temperatura atmosférica. O revestimento HIDRO1 foi o que obteve as maiores temperaturas superficiais nesta condição, porém, não distante das demais. Na condição “úmido”, nota-se um mesmo comportamento da condição “seco”, com temperaturas superficiais próximas e com um aumento ao longo do dia conforme variou a temperatura atmosférica.

Figura 62 – Ensaio de termografia para os revestimentos hidrorrepelentes

ENSAIO DE TERMOGRAFIA: HIDRORREPELENTES						
REVESTIMENTO "SECO"			REVESTIMENTO "ÚMIDO"			
	TEMP. ATM.: 18°C UMID. REL.: 72%	TEMP. ATM.: 31°C UMID. REL.: 47%	TEMP. ATM.: 30°C UMID. REL.: 55%	TEMP. ATM.: 21°C UMID. REL.: 66%	TEMP. ATM.: 23°C UMID. REL.: 57%	TEMP. ATM.: 24°C UMID. REL.: 56%
	MANHÃ - 8:00	MEIO DIA - 12:00	TARDE - 16:00	MANHÃ - 8:00	MEIO DIA - 12:00	TARDE - 16:00
HIDRO1	Sp1 22.1	Sp1 29.2	Sp1 29.2	Sp1 19.7	Sp1 21.8	Sp1 23.4
HIDRO2	Sp1 21.7	Sp1 27.7	Sp1 28.3	Sp1 19.7	Sp1 21.3	Sp1 22.7
HIDRO3	Sp1 21.9	Sp1 28.2	Sp1 28.8	Sp1 19.7	Sp1 21.2	Sp1 22.5
HIDRO4	Sp1 21.9	Sp1 27.2	Sp1 28.2	Sp1 20.4	Sp1 21.0	Sp1 23.1

Para os revestimentos em argamassa, a Figura 63 mostra os valores das temperaturas superficiais destes revestimentos. Da mesma forma que os hidrorrepelentes, o comportamento das argamassas na condição “seco” foi com temperatura superficial nas três medições, muito próxima uma da outra e alterou-se de acordo com a variação da temperatura. O revestimento de argamassa de recuperação superficial AS-PSP foi o que apresentou uma temperatura um pouco maior (cerca de 1°C), e o revestimento de recuperação profunda AP-IND-RM apresentou uma temperatura superficial um pouco menor (cerca de 1°C), ambos em relação às demais argamassas nas três medições. Da mesma forma, obteve-se o mesmo comportamento na condição “úmido” e na condição “seco” para as argamassas, porém nota-se que a argamassa de recuperação profunda AP-DO-L apresentou uma pequena discrepância. Nas três medições, esta argamassa estava com uma temperatura superficial cerca de 2°C menor em relação às demais, mostrando que, provavelmente, possuía maior quantidade de água da precipitação retida em seu interior.

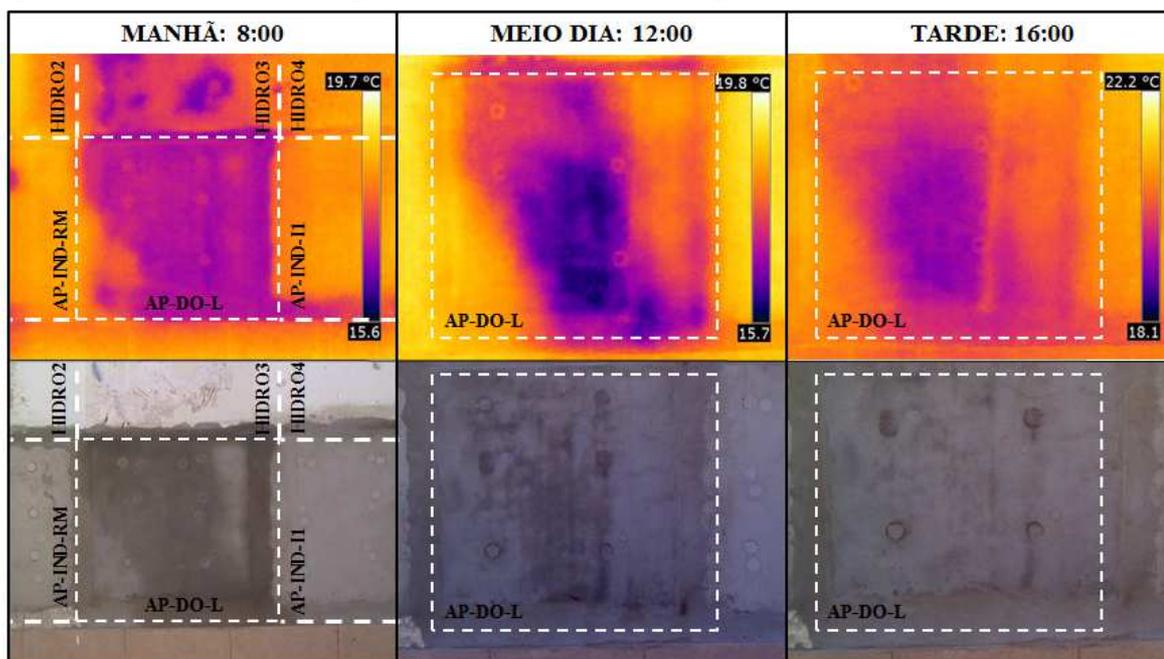
Figura 63 – Ensaio de termografia para os revestimentos em argamassa

ENSAIO DE TERMOGRAFIA: ARGAMASSAS DE RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL						
REVESTIMENTO "SECO"			REVESTIMENTO "ÚMIDO"			
	TEMP. ATM.: 18°C UMID. REL.: 72%	TEMP. ATM.: 31°C UMID. REL.: 47%	TEMP. ATM.: 30°C UMID. REL.: 55%	TEMP. ATM.: 21°C UMID. REL.: 66%	TEMP. ATM.: 23°C UMID. REL.: 57%	TEMP. ATM.: 24°C UMID. REL.: 56%
	MANHÃ - 8:00	MEIO DIA - 12:00	TARDE - 16:00	MANHÃ - 8:00	MEIO DIA - 12:00	TARDE - 16:00
AS-PB	Sp1 21.8	Sp1 28.5	Sp1 28.5	Sp1 19.6	Sp1 21.3	Sp1 22.9
AS-ACIII	Sp1 21.8	Sp1 28.4	Sp1 28.9	Sp1 19.9	Sp1 21.5	Sp1 23.3
AS-PSP	Sp1 22.3	Sp1 30.6	Sp1 30.0	Sp1 20.1	Sp1 22.4	Sp1 24.5
ENSAIO DE TERMOGRAFIA: ARGAMASSAS DE RECUPERAÇÃO PROFUNDA						
REVESTIMENTO "SECO"			REVESTIMENTO "ÚMIDO"			
	TEMP. ATM.: 18°C UMID. REL.: 72%	TEMP. ATM.: 31°C UMID. REL.: 47%	TEMP. ATM.: 30°C UMID. REL.: 55%	TEMP. ATM.: 21°C UMID. REL.: 66%	TEMP. ATM.: 23°C UMID. REL.: 57%	TEMP. ATM.: 24°C UMID. REL.: 56%
	MANHÃ - 8:00	MEIO DIA - 12:00	TARDE - 16:00	MANHÃ - 8:00	MEIO DIA - 12:00	TARDE - 16:00
AP-IND-RM	Sp1 21.2	Sp1 26.8	Sp1 27.1	Sp1 18.5	Sp1 19.9	Sp1 23.3
AP-IND-II	Sp1 21.2	Sp1 26.8	Sp1 27.5	Sp1 19.3	Sp1 20.8	Sp1 22.5
AP-IND-I2	Sp1 21.5	Sp1 26.7	Sp1 27.5	Sp1 19.2	Sp1 21.1	Sp1 22.7
AP-DO-P	Sp1 21.4	Sp1 27.4	Sp1 28.4	Sp1 19.5	Sp1 21.1	Sp1 22.7
AP-DO-L	Sp1 21.1	Sp1 27.3	Sp1 27.6	Sp1 17.2	Sp1 17.0	Sp1 20.2

Esta diferença apresentada pela argamassa AP-DO-L na condição de ensaio “úmido” pode ser visualizada comparativamente melhor em relação às demais argamassas na Figura 64. No registro termográfico da manhã, vê-se, pelo gradiente de cores, uma grande mancha no revestimento AP-DO-L com temperatura superficial inferior aos demais revestimentos, demonstrando a umidade existente no revestimento. Ao longo do dia, com o aumento da temperatura atmosférica, há a evaporação da água presente no revestimento, notando que isso

ocorre da região das bordas externas para o centro do revestimento. É válido observar que as manchas no revestimento HIDRO3, visualizado na Figura 64, são devidas ao descolamento da pintura ocorrido no ensaio de permeabilidade à água líquida pelo método do cachimbo.

Figura 64 – Ensaio de termografia no revestimento de argamassa AP-DO-L



Assim, com este ensaio, foi possível observar a correlação com o ensaio de permeabilidade à água líquida pelo método do cachimbo, no qual AP-DO-L obteve alta permeabilidade em relação aos demais revestimentos de argamassa. Embora no ensaio de absorção de capilaridade tenha apresentado bons resultados, e no ensaio de permeabilidade ao vapor demonstrou ser o menos permeável.

4.2.4 Resistência de aderência à tração

Ao término de todos os ensaios *in loco*, foi possível realizar o ensaio de resistência de aderência à tração nos revestimentos de argamassa, sendo que os resultados individuais se encontram no Apêndice B. Na Tabela 20, mostra-se o resultado para os revestimentos de argamassa de recuperação profunda, em que se indica o percentual do local de ensaio dos corpos de prova, a resistência de aderência média, se a resistência está de acordo com a NBR 13749 (ABNT, 2013), qual o coeficiente de variação dos valores e qual a forma e tipo de ruptura mais recorrente no revestimento.

Tabela 20 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas de recuperação profunda

REVESTIMENTO	SUBSTRATO	CHAPISCO		LOCAL DO ENSAIO (%)				RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA MÉDIA (MPa)	ESTÁ DE ACORDO COM A NBR 13749/2013 8CP ≥ 0,30 MPa	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO CV (%)	FORMA DE RUPTURA MAIS RECORRENTE	TIPO DE RUPTURA
		TRAÇO 1:3 DOSADO EM OBRA	SEM CHAPISCO	TIJOLO	JUNTA H	JUNTA V	S/ VISUALIZ.					
AP-DO-L	Tijolo Maciço	x		44	7	3	46	0,24	Não	40	Chapisco 51%	Coesiva
AP-IND-RM	Tijolo Maciço	x		58	12	1	30	0,21	Não	42	Sub/Chap 63%	Adesiva
AP-IND-I1	Tijolo Maciço		x	70	13	13	5	0,22	Não	56	Sub/ArgRev 80%	Adesiva
AP-DO-P	Tijolo Maciço	x		23	6	5	66	0,14	Não	39	ArgRev 58%	Coesiva
AP-IND-I2	Tijolo Maciço		x	65	18	10	7	0,07	Não	109	Sub/ArgRev 67%	Adesiva

Observou-se que os valores dos resultados de resistência de aderência dos corpos de prova tiveram grande variabilidade. Deste modo, realizou-se o tratamento dos resultados excluindo os valores espúrios da mesma forma que foi feito por Stolz (2011). A partir da média dos doze corpos de prova e do desvio padrão, excluem-se todos os valores fora do intervalo da soma do desvio padrão e da média, e da subtração da média e do desvio padrão. Realizando-se uma nova média considerando somente os valores que estavam no intervalo.

Analisando-se a Tabela 14, nota-se que o ensaio ocorreu maioritariamente no tijolo maciço, porém, em alguns corpos de prova não foi possível a visualização do local do ensaio. Nenhum revestimento atingiu no mínimo 8 corpos de prova com resistência mínima para revestimentos de fachada de 0,30 MPa, conforme se exige a NBR 13749/2013. As rupturas das argamassas industrializadas ocorreram na interface substrato/chapisco (AP-IND-RM) ou interface substrato/revestimento (AP-IND-I1 e AP-IND-I2), dando-se de forma adesiva. Já as argamassas dosadas em obra romperam de forma coesiva, na argamassa para AP-DO-P e no chapisco para AP-DO-L.

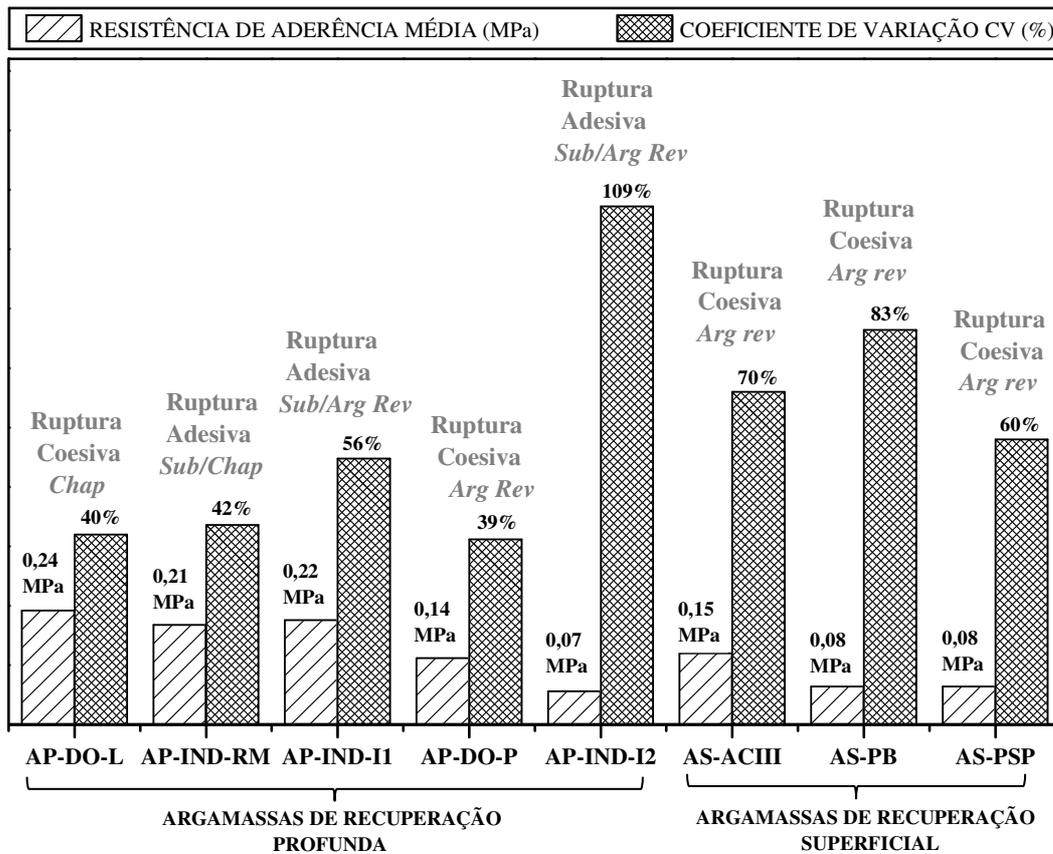
Os resultados da resistência de aderência à tração para as argamassas de recuperação superficial estão apresentadas na Tabela 21, na qual também houve a exclusão dos valores espúrios. Como essas argamassas foram aplicadas diretamente sobre o revestimento existente, não se considera o local do ensaio. A resistência de no mínimo 8 corpos de prova destas argamassas também não atingiram o valor mínimo da norma NBR 13749/2013, mas também obtiveram um alto valor de coeficiente de variação, ocorrendo a ruptura de forma coesiva na argamassa de revestimento existente.

Tabela 21 – Resultado do ensaio de resistência de aderência à tração das argamassas de recuperação superficial

REVESTIMENTO	SUBSTRATO	ESTÁ DE ACORDO COM A NBR 13749/2013 $\geq 0,30$ MPa	RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA MÉDIA (MPa)	COEFICIENTE DE VARIAÇÃO CV (%)	FORMA DE RUPTURA	TIPO DE RUPTURA
AS-ACIII	Argamassa de revestimento existente	Não	0,15	70	Arg. rev. 100%	Coesiva
AS-PB	Argamassa de revestimento existente	Não	0,08	83	Arg. rev. 100%	Coesiva
AS-PSP	Argamassa de revestimento existente	Não	0,08	60	Arg. rev. 100%	Coesiva

Na Figura 65, observa-se que os revestimentos de argamassa industrializada de recuperação profunda AP-IND-RM e AP-IND-I1, além de não apresentarem resistência de aderência satisfatória obtiveram ruptura adesiva, o que pode levar o revestimento à ocorrência de deslocamento. O revestimento AP-IND-I2, também teve ruptura adesiva, mas o coeficiente de variação foi extremamente elevado (109%). Já os revestimentos dosados em obras de recuperação profunda AP-DO-L e AP-DO-P apresentaram ruptura coesiva e não atingiram o mínimo exigido pela norma NBR 13749/2013. As argamassas de recuperação superficial romperam de forma coesiva no substrato (revestimento de argamassa existente), mas o coeficiente de variação foi alto.

Figura 65 – Resistência de aderência à tração média e coeficiente de variação das argamassas



No Quadro 15, é apresentado um exemplo para cada forma de ruptura ocorrida em cada revestimento de argamassa de recuperação profunda, bem como sua localização no painel de ensaio. Verifica-se que as argamassas AP-IND-RM e AP-DO-P não tiveram nenhum ponto com ruptura no substrato, que todos os revestimentos romperam na interface com o substrato, que todos os revestimentos que continham aplicação de chapisco romperam, que apenas AP-IND-RM apresentou ruptura na interface chapisco/argamassa de revestimento, e que exceto AP-DO-L não obteve ruptura na argamassa de revestimento.

Quadro 15 – Exemplos de amostras da forma de ruptura das argamassas de recuperação profunda

ARGAMASSAS DE RECUPERAÇÃO PROFUNDA							
REV.	PAINEL DE ENSAIO	FORMA DE RUPTURA					
		SUBSTRATO	SUB/CHAP	SUB/ARG	CHAPISCO	CHAP/ARG	ARGAMASSA
AP-IND-RM		-		-			
AP-IND-I1			-		-	-	
AP-IND-I2			-		-	-	
AP-DO-P		-		-		-	
AP-DO-L				-		-	-

Para os revestimentos de argamassa de recuperação superficial, mostra-se, no Quadro 16, um exemplo da forma de ruptura, sendo que todas ocorrem no substrato (argamassa de revestimento existente). Embora os resultados de resistência de aderência obtidos foram inferiores aos estabelecidos por norma, mostra que os revestimentos possuem boa aderência com o substrato.

Quadro 16 – Exemplos de amostra da forma de ruptura das argamassas de recuperação superficial

ARG. DE RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL		
REV.	PAINEL DE ENSAIO	FORMA DE RUPTURA SUBSTRATO
AS-PB		
AS-ACIII		
AS-PSP		

Este ensaio não proporcionou resultados satisfatórios em relação aos valores de resistência de aderência, pois apresentaram coeficiente de variação muito alto. Além disso, as rupturas adesivas que ocorreram na interface do substrato podem ter sido influenciadas por algum defeito na remoção do reboco antigo. Também, as argamassas industrializadas de recuperação profunda AP-IND-I1 e AP-IND-I2 foram aplicadas diretamente sobre o tijolo maciço, sem chapisco (conforme orientação do fabricante), o que pode ter facilitado a ruptura na interface substrato/argamassa de revestimento.

4.3 ANÁLISE PRELIMINAR DE CUSTOS

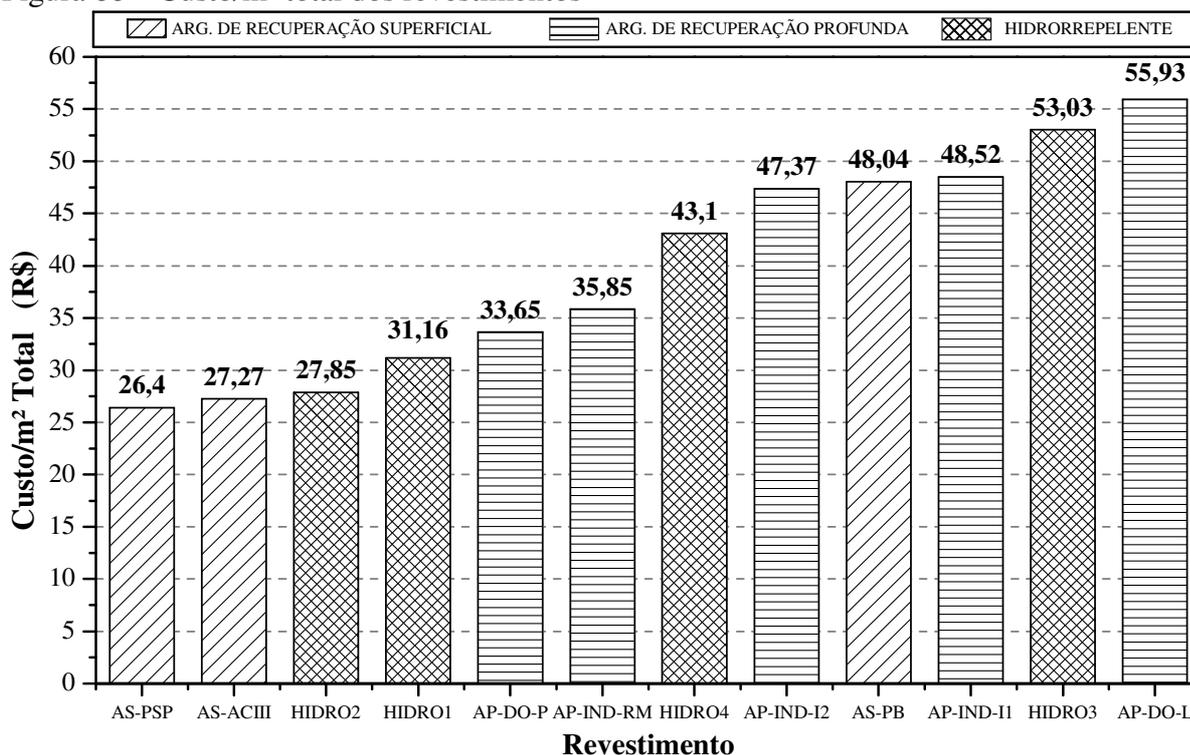
Para se originar o custo/m² de cada revestimento analisado, realizou-se uma composição de custos, envolvendo os custos de mão de obra e material. Esta composição está apresentada no Apêndice C. Nos custos de mão de obra, considerou-se a limpeza da fachada, a retirada do revestimento antigo (apenas para os revestimentos de recuperação profunda), mais a aplicação do revestimento.

Na Tabela 22, apresenta-se o custo de material e mão de obra, e o custo total de cada revestimento estudado. Deste modo, analisa-se que o custo da mão de obra pouco variou entre todos os revestimentos, a maior diferença foi para os revestimentos de argamassa de recuperação profunda dosadas em obra, pois os mesmos possuem execução do chapisco. O custo total foi bem distinto e determinado pelo custo do material.

Tabela 22 – Custo/m² total dos revestimentos

HIDORREPELENTES			
Revestimento	Material	Mão de obra	R\$ CUSTO TOTAL/m²
HIDRO2	6,78	21,07	27,85
HIDRO1	12,53	18,63	31,16
HIDRO4	22,49	20,60	43,10
HIDRO3	32,43	20,60	53,03
ARGAMASSAS DE RECUPERAÇÃO SUPERFICIAL			
Revestimento	Material	Mão de obra	R\$ CUSTO TOTAL/m²
AS-PSP	8,12	18,28	26,40
AS-ACIII	8,65	18,62	27,27
AS-PB	28,25	19,79	48,04
ARGAMASSAS DE RECUPERAÇÃO PROFUNDA			
Revestimento	Material	Mão de obra	R\$ CUSTO TOTAL/m²
AP-DO-P	9,55	24,10	33,65
AP-IND-RM	14,60	21,26	35,85
AP-IND-I2	27,45	19,92	47,37
AP-IND-I1	27,6	20,92	48,52
AP-DO-L	28,65	27,29	55,93

A partir da Figura 66, é possível uma visualização geral do custo total/m² de todos os revestimentos estudados, sendo o revestimento de argamassa de recuperação profunda AP-DO-L o mais dispendioso, atingindo um custo total de R\$ 55,93/m², seguido do revestimento hidrorrepelente HIDRO3 alcançando R\$ 53,03/m². E os menos custosos são representados pelas argamassas colantes de recuperação superficial, as quais obtiveram um custo total em torno de R\$ 27,00/m².

Figura 66 – Custo/m² total dos revestimentos

Dentre os revestimentos que tiveram maior destaque no seu desempenho à estanqueidade à água depois de finalizados todos os ensaios, pode-se afirmar que, dos hidrorrepelentes, o revestimento HIDRO2 se sobressaiu, e atingiu o menor custo total de R\$ 27,85/m² entre os hidrorrepelentes. Já para as argamassas de recuperação superficial, o revestimento AS-PB se destacou e obteve um custo total de R\$ 48,04/m², e dentre as argamassas de recuperação profunda, o revestimento AP-IND-I2 atingiu um custo total de R\$ 47,37/m², porém ambas as argamassas tiveram um custo bem mais elevado do que o hidrorrepelente HIDRO2.

Desta forma, discorrendo de recuperação de fachadas e analisando o custo/benefício, verifica-se que a aplicação dos hidrorrepelentes é mais viável, pois traz benefícios técnicos e econômicos. E mesmo em uma alvenaria em que será aplicado o revestimento de argamassa pela primeira vez, é mais econômico realizá-lo sem adições ou aditivos que impedem a passagem de água, e posteriormente aplicar o revestimento hidrorrepelente. Visto que, também, no caso de recuperação de fachadas, após a aplicação das argamassas, esta possivelmente receberá uma pintura, aumentando deste modo ainda mais o custo total.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou avaliar o comportamento de revestimentos com capacidade hidrofugante encontrados no mercado da construção civil, visando ao seu desempenho à estanqueidade à água quando utilizados com o intuito de recuperação de fachadas degradadas pela ação da umidade. Foram estudadas argamassas industrializadas e dosadas em obra com aditivos impermeabilizantes, e hidrorrepelentes formadores de película, tendo como base comparativa uma argamassa industrializada sem componente impermeabilizante.

Para que isso fosse possível, efetuaram-se diversos ensaios tecnológicos laboratoriais e *in loco* e ao final deste processo, consegue-se determinar a capacidade à estanqueidade à água destes revestimentos, bem como compará-los entre si. E ainda, com os resultados tecnológicos e de custo é possível apresentar a análise de custo/benefício dos revestimentos, indicando aqueles que se destacam na recuperação de fachadas degradadas expostas à umidade.

5.1 CONCLUSÕES

Possuindo sempre como referência o revestimento de argamassa AP-IND-RM, que não possui composição impermeabilizante, proporcionou-se a avaliação diante da estanqueidade à água dos demais revestimentos estudados. Deste modo, apresentam-se as principais considerações/conclusões de cada ensaio realizado, apontando os revestimentos que se sobressaíram nesta etapa. Após, realiza-se uma comparação entre argamassas e hidrorrepelentes.

5.1.1 Ensaios laboratoriais

Para o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, constatou-se que a argamassa AP-DO-P permitiu a maior difusão de vapor, possibilitando desta forma que o revestimento de fachada “respire” e não fique com a água retida. Os demais, tanto argamassas de recuperação profunda quanto superficial e os hidrorrepelentes apresentaram menor capacidade de demonstrar esta característica, principalmente AP-IND-I2, AS-PB, HIDRO2 e HIDRO1, sendo que os dois primeiros demonstraram um alto custo de aplicação. Os hidrorrepelentes foram os que apresentaram a menor capacidade de difusão de vapor entre todos os

revestimentos estudados, porém, como esperado, foram os que mais impediram a entrada da água líquida.

No ensaio de absorção de água por capilaridade, todos os revestimentos obtiveram menor absorção capilar em relação à argamassa de referência AP-IND-RM. Sendo que, das argamassas industrializadas de recuperação profunda, AP-IND-I1 e AP-IND-I2 foram as que mais se destacaram, apresentando maior estanqueidade à água, mas o custo de aplicação foi elevado. E das argamassas de recuperação superficial, AS-PB foi a que mais impediu a penetração capilar entre todas as argamassas estudadas, mas também apresentou alto custo de aplicação. Já os hidrorrepelentes permitiram a menor absorção capilar através da amostra referência, sendo que conseguiram reduzir mais de 95% desta absorção, ficando o destaque para o revestimento HIDRO2 e em seguida o HIDRO1, sendo que ambos tiveram custo de aplicação mais baixo e muito próximo.

Em relação ao ensaio de evaporação, os resultados foram influenciados pelos teores de água, bem como pelas características dos revestimentos. A argamassa de recuperação profunda AP-IND-I2 demonstrou atingir um equilíbrio mais rapidamente em função da baixa absorção de água capilar, enquanto AP-IND-I1 e AP-DO-L foram mais lentas. E AP-IND-RM, que obteve alta absorção capilar, demorou para começar a atingir o equilíbrio, mas a velocidade de perda de teor de água foi maior do que as demais argamassas. Tanto as argamassas de recuperação superficial quanto os hidrorrepelentes impediram a saída da água do corpo de prova da argamassa referência, principalmente AS-PB e HIDRO2, o que, nestes casos, deve-se ficar atento na facilidade de ocorrer uma manifestação patológica. Também, até o final do ensaio, não se conseguiu registrar o equilíbrio de todos os revestimentos, provavelmente em decorrência do tamanho do corpo de prova, que deveria ter a sua dimensão reduzida.

As resistências à tração na flexão e à compressão das argamassas de recuperação profunda demonstraram que os revestimentos AP-IND-I1, AP-DO-L e AP-IND-I2 são os mais resistentes. Sendo que estes apresentaram boa estanqueidade à água líquida no ensaio de absorção capilar e baixa permeabilidade ao vapor de água, indicando conjuntamente que provavelmente estas argamassas possuem menor porosidade em comparação com as demais.

5.1.2 Ensaio *in loco*

O ensaio de permeabilidade à água líquida pelo método do cachimbo realizado *in loco* foi o que apresentou maior dificuldade de execução em função das condições climáticas, ficando a data de ensaio bem avançada em relação aos ensaios laboratoriais. Neste ensaio, novamente as argamassas AS-PB e AP-IND-I2 foram as que mais impediram a entrada de água no revestimento, principalmente AS-PB. Ao contrário, as argamassas colantes e AP-DO-L tiveram os piores desempenhos. E os hidrorrepelentes bloquearam totalmente a entrada de água no revestimento, demonstrando o seu alto desempenho à estanqueidade à água, porém, apresentaram pouca aderência com o revestimento da base.

Para o ensaio de absorção e evaporação da água, concluiu-se que a rugosidade e o acabamento da superfície do revestimento influenciaram nos resultados. E, a partir do método aplicado, foi possível observar novamente e compreender os resultados laboratoriais e o de permeabilidade à água líquida, em que AS-PB mais uma vez se destacou diante da estanqueidade. Como os hidrorrepelentes impediram a penetração da água no ensaio de permeabilidade à água líquida, no ensaio de absorção e evaporação da água estes revestimentos obtiveram obviamente este mesmo comportamento, demonstrando a alta capacidade de estanqueidade.

O ensaio de termografia ajudou a confirmar o fato ocorrido com a argamassa de recuperação profunda AP-DO-L no ensaio de permeabilidade à água líquida, sendo um dos revestimentos que menos impediu a passagem da água líquida, ficando contrário ao apresentado com experimentos laboratoriais. E para os demais revestimentos, neste ensaio, pouco se observou diferenças, ficando tanto na condição “seco” como “úmido” com uma variação da temperatura superficial praticamente no mesmo patamar.

Já o ensaio de resistência de aderência à tração realizado em todos os revestimentos de argamassa não apresentou resultados satisfatórios, pois todos obtiveram um coeficiente de variação elevado. De qualquer forma, o que apresentou maior resistência foi a argamassa AP-DO-L, porém, obteve resultados imprecisos em relação à estanqueidade. Após, os mais resistentes foram a referência AP-IND-RM e AP-IND-I1. Já o revestimento AP-IND-I2, que apresentou grande capacidade diante da estanqueidade à água e boa resistência à tração e à compressão, apresentou resistência de aderência muito baixa, o que pode ter sido influenciado em função da retirada da camada de chapisco.

5.1.3 Comparação entre os revestimentos de argamassa e os hidrorrepelentes

Os ensaios revelaram que, das argamassas de recuperação profunda, as argamassas industrializadas AP-IND-I1 e AP-IND-I2 demonstraram maior eficiência. Isto pode ser justificado por possuírem um maior controle de dosagem de seus constituintes e fixarem a quantidade de água utilizada na mistura. Porém, verificou-se que AP-IND-I2 apresentou transportes de sais para a superfície, bem como baixa resistência de aderência que pode ter sido motivada pela inexistência da camada de chapisco. As argamassas dosadas em obra tiveram grande influência na proporção de materiais utilizados, em função também da pouca informação técnica dos fabricantes, sendo que principalmente AP-DO-L apresentou resultados imprecisos.

Em relação às argamassas de recuperação superficial, o revestimento AS-PB foi o que se sobressaiu em todos os ensaios realizados, mas apresentou pouca permeabilidade ao vapor de água, o que é esperado quando se tem alta impermeabilidade à água líquida. Já as argamassas colantes AS-PSP e AS-ACIII não exibiram resultados que se podem dizer satisfatórios quando comparados com os demais revestimentos, além de se ter observado que a sua execução como revestimento é difícil e com superfície irregular.

Os hidrorrepelentes apresentaram alto desempenho à estanqueidade à água, inclusive superior ao das argamassas, sendo que HIDRO1 e HIDRO2 foram os que mais se enfatizaram. Mas, HIDRO3 e HIDRO4 também obtiveram ótimos resultados e ainda permitiram uma permeabilidade ao vapor próximo de algumas argamassas, entretanto, o custo de aplicação se mostrou elevado.

A partir da composição de custos dos revestimentos, observou-se que o custo total/m² foi determinado pelo custo do material. E que os revestimentos apresentaram um custo bem aleatório, sendo que, dentre os que mais se destacaram em relação à estanqueidade, os hidrorrepelentes HIDRO2 e HIDRO1 obtiveram menores custos, e as argamassas AS-PB, AP-IND-I1 e AP-IND-I2 acarretaram um custo bem mais dispendioso.

Diante do exposto, os resultados demonstraram, no geral, que os hidrorrepelentes possuem maior capacidade de estanqueidade à água do que as argamassas, impedindo a entrada de água através do revestimento de fachada. Algumas argamassas também se destacaram, porém o seu custo para aplicação do sistema é elevado. Deste modo, sugere-se que, para a recuperação de fachadas degradadas pela umidade, é mais benéfico tecnologicamente e economicamente utilizar revestimentos hidrorrepelentes, que se revelaram

mais eficazes, são de fácil aplicação e podem ser utilizados como última camada do sistema de revestimento de fachada, ao contrário das argamassas, que ainda necessitariam aplicação de pintura, podendo aumentar a estanqueidade, mas com custo bem mais oneroso.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer da avaliação dos diferentes revestimentos estudados com foco no seu desempenho perante à estanqueidade à água, surgiram algumas limitações de ensaio e, juntamente, alguns questionamentos na alteração de certos procedimentos. Diante disso, para ampliar o conhecimento sobre os revestimentos estudados, sugerem-se as seguintes propostas para futuras pesquisas:

- a) analisar a microestrutura das argamassas para a perfeita compreensão dos fenômenos de transferência de umidade;
- b) realizar o ensaio *in loco* de permeabilidade à água pelo método do cachimbo aos 28 dias em laboratório, em protótipos de paredes, evitando o transtorno das condições climáticas;
- c) para o ensaio laboratorial de evaporação, utilizar corpos de prova de menor dimensão para diminuir o tempo total de ensaio;
- d) para o ensaio *in loco* de absorção e evaporação da água, lixar a superfície do revestimento de argamassa antes de executar o ensaio, evitando a influência da rugosidade e acabamento superficial do revestimento;
- e) realizar ensaio de resistência de aderência dos hidrorrepelentes.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA DIAS, L.; CARASEK, H. Avaliação da permeabilidade e da absorção de água de revestimentos de argamassa pelo método do cachimbo. In: V Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005. 11 p.

_____. **NBR 8802**: Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro, 2013. 8 p.

_____. **NBR 9575**: Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010. 14 p.

_____. **NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 2005. 3 p.

_____. **NBR 11172**: Aglomerantes de origem mineral. Rio de Janeiro, 1990. 5 p.

_____. **NBR 13259**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas. Rio de Janeiro, 1995. 8 p.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 1995. 9 p.

_____. **NBR 13281**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.

_____. **NBR 13528**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

_____. **NBR 13749**: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, 2013. 8 p.

_____. **NBR 14081-1:** Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004. 5 p.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 71 p.

_____. **NBR 15575-3:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos. Rio de Janeiro, 2013. 42 p.

_____. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013. 63 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 4610:** Standard Guide for Determining the Presence of and Removing Microbial (Fungal or Algal) Growth on Paint and Related Coatings. United States, 2004. 2 p.

AGOSTINHO, C. S. A. **Estudo da evolução do desempenho no tempo de argamassas de cal área.** 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2008.

BALL, R. J.; ALLEN, G. C. The measurement of water transport in porous materials using impedance spectroscopy. **Journal of physics D: Applied physics**, v. 43, n. 10, 2010.

BAROGHEL, B.V., MAINGUY, M., LASSABATERE, T., COUSSY, O. Characterization and Identification of Equilibrium and Transfer Moisture Properties for Ordinary and high-performance Cementitious Materials. **Cement and Concrete Research**, v. 29, n. 8, p. 1225-1238, ago. 1999.

BAUER, E. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho.** 1987. 188 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987.

BAUER, R. J. F. Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica. In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas, 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997.

BAUER, E; SILVA, M. N. B.; ZANONI, V. A. G. Mensuração da degradação e vida útil em fachadas. In: XI Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2015, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2015.

BLOCKEN, B; DEROME, D; CARMELIET, J. Rainwater runoff from building facades: A review. **Building and Environment**, v. 60, pp 339-361, 2013.

BRITO, V. P. S. **Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte**. 2009. 215 f. Dissertação (Mestrado em Reabilitação de Edifícios) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2009.

BRITO, J. N. S.; FORMOSO, C. T.; ECHEVESTE, M. E. S. Análise de dados de reclamações em empreendimentos habitacionais de interesse social: Estudo no Programa de Arrendamento Residencial. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 151-166, out./dez. 2011.

CARASEK, H. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. ISAIA, G.C. (Organizador/Editor). São Paulo: IBRACON, 2007.

CARASEK, H. Avaliação de resultados do ensaio de resistência de aderência de revestimentos de argamassa. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 185, p. 50-55, ago. 2012.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SANTOS, M. S. J. dos; LEMES, N. Avaliação em obra da resistência superficial de revestimentos de argamassa. **Revista ALCONPAT**, v. 1, n. 2, p. 118-140, mai./ago. 2011.

CARASEK, H.; CASCUDO, O.; SCARTEZINI, L. M. Importância dos materiais na aderência dos revestimentos de argamassa. In: IV Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, 2001, Brasília. **Anais...** Brasília, 2001.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION. **Nota Informativa Técnica NIT 197: Limpeza de fachadas.** Bruxelles, 1995.54 p.

CHAROLA, A. E. Salts in the deterioration of porous: an overview. **Journal of the American Institute for Conservation**, v. 39, pp 327-343, 2000.

CHAVES, A. M. V. A. **Patologia e reabilitação de revestimentos de fachadas.** 2009. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Portugal, 2009.

CHEW, M. Y. L.; TAN, P. P. Facade staining arising from design features. **Construction and Building Materials**, v. 17, pp 181-187, 2013.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CARASEK, H. **Argamassas de revestimentos: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: IPT, 1995. 118p.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações.** 2007. 178 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

COSTA, L. L. **O uso de argamassas tradicionais e pré-dosadas para impermeabilização em revestimentos exteriores.** 2008. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Trás-os-montes, Vila Real, 2008.

COUTINHO, M. J.A. R. S. **Melhoria da durabilidade dos betões por tratamento de cofragem.** Porto: FEUP Edições, 2005.

DIAS, L. A. **Avaliação da permeabilidade e da absorção da água em revestimentos de argamassa.** 2003. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

DELGADO, J. M. P. Q.; FREITAS, V. P.; GUIMARÃES, A. S. Water movement in building walls: interfaces influence on the moisture flux. **Heat Mass Transfer**, v. 52, pp 2415-2422, 2016.

DULLIEN, F. A. L., **Porus media: fluid transport and structure**. 2 ed. New York: Academic Press, 1992. ISBN 0-12-223651-3.

EMO (EMOdicO). **Dicionário Técnico Online**. European Mortar Industry Organization. Disponível em: <<http://www.euromortar.com/emodico/en/index/>>. Acesso em: 12 set 2016.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN998-1**: Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar. Brussels, 2003. 21 p.

_____. **EN1015-19**: Methods of test for mortar for masonry – Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars. Brussels, 2004. 8 p.

_____. **EN 13187**: Thermal performance of buildings, qualitative detection of thermal irregularities in building envelopes – Infrared method. Brussels, 1999. 18 p.

FERREIRA, B. B. D. **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. 2010. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FLORES, M. G. **Geração da base climática de Santa Maria - RS - para análise de desempenho térmico e eficiência energética de edificações**. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

FLORES-COLEN, I. **Metodologia de Avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. 2009. 487 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

FREITAS, V. P. de; ALVES, S. M.; SOUZA, M. Um contributo para a sistematização do conhecimento da patologia da construção em Portugal. In: II Congresso Nacional de Argamassas de construção, 2007, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 2007.

FREITAS, V. P. de; TORRES, M. I.; GUIMARÃES, A. S. **Humidade Ascensional**. 1 ed. FEUP Edições, 2008.

GARBALINSKA, H; KOWALSKI, S. J.; STASZAK, M. Moisture Transfer Between Unsaturated Cement Mortar and Ambient Air. **Transp Porous Med**, v. 85, pp 79-86, 2010.

GASPAR, P. L. **Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes**. 2009. 358 f. Dissertação (Doutorado em Construção) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2009.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Durabilidade, estados limite e vida útil de reboco em fachadas. In: III Congresso Nacional de Argamassas de construção, 2010, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 2010.

GASPAR, P.; BRITO, J. Mapping defect sensitivity in external mortar renders. **Construction and Building Materials**, v. 19, pp 571-578, 2005.

GEWEHR, U. **Aplicabilidade e eficiência de dois métodos de saneamento de paredes degradadas por umidade e sais a partir de uma revisão bibliográfica e de um estudo de caso**. 2004. 179 f. Dissertação (Mestrado Profissionalizante) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

GIONGO, M. **Análise do nível de exposição das edificações à chuva dirigida para Florianópolis**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

GONÇALVES, T. C. D. **Salt crystallization in plastered or rendered walls**. 2007. 262 f. Tese (Pós-Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

GONÇALVES, T. D.; BRITO, V.; MUSACCHI, J. The whole and the parts: Can lime coatings enhance the drying of salt laden materials. **Construction and Building Materials**, v. 57, pp 179-189, 2014.

GUTERRES, P. R. C. **Argamassas de reabilitação: estudo da sua utilização e do seu comportamento para o tratamento e recuperação de construções afetadas por eflorescências**. 2009. 380 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

HALL, C. Water Movement in Porous Building Materials-I. Unsaturated Flow Theory and its Applications. **Building and Environment**, v. 12, pp 117-125, 1977.

HALL, C.; HOFF, W. D.; NIXON, M. R. Water Movement in Porous Building Materials - VI. Evaporation and Drying in Brick and Block Materials. **Building and Environment**, v. 19, n. 1, pp 13-20, 1984.

HATTGE, A. F. **Estudo comparativo sobre a permeabilidade das alvenarias em blocos cerâmicos e alvenarias em blocos de concreto**. 2004. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

HERNIQUES, F. M. A. **Humidade em paredes**. 4 ed. Lisboa: LNEC, 2007. ISBN 978-972-49-1592-0.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Manual de observações meteorológicas**. 3 ed. Ministério da Agricultura e do Abastecimento, Brasília, 1999.

INTERNATIONAL STANDARD.ISO.**ISO 18434-1**: Condition monitoring and diagnosis of machines – Thermography – Part 1: General procedures. Geneva. 2008. 24 p.

JANTSCH, A. C. A. **Análise do desempenho de argamassas estabilizadas submetidas a tratamento superficial com aditivos cristalizantes**. 2015. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

KÜNZEL, H. M.; KÜNZEL, H.; HOLM, A. Rain Protection of Stucco Facades. In: IX International Conference, 2004, Clearwater, Florida, Estados Unidos. Disponível em: <www.hoki.ibp.fraunhofer.de/ibp/publikationen/konferenzbeitraege/Rain_Protection_of_Stucco_Facades.pdf>. Acesso em: 05/05/2017.

LERSCH, I. M. **Contribuição para a identificação dos principais fatores e mecanismo de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre.** 2003. 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

LICHTENSTEIN, N. B. **Patologia das construções: procedimento para diagnóstico e recuperação.** Boletim técnico. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1985.

LIMA, M. G. L.; MORELLI, F. Mapa Brasileiro de “Chuva dirigida” – Algumas considerações. In: VI Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas e I International Symposium on Mortars Technology, 2005, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2005. p. 620-634.

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

MADUREIRA, S; FLORES-COLEN, I; BRITO, J.; PEREIRA, C. Maintenance planning of facades in current buildings. **Construction and Building Materials**, v. 147, pp 790-802, 2017.

MAGALHÃES, A. C. **Patologia de rebocos antigos.** LNEC, Cadernos de Edifícios, nº 2, Outubro de 2002.

MARQUES, D. F. P. C. **Avaliação da qualidade térmica da envolvente de edifícios – Estudo de caso através da análise numérica e por termografia infravermelha.** 2014. 131 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

MATOS, C. H.C. T. F. **Aplicação do ensaio de Porta Ventiladora ao regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios.** 2013. 184 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2013.

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos.** 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 3 ed. São Paulo: Pini, 2008, 581 p.

MELO JÚNIOR, C. M. **Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada.** 2010. 207 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

MELO JÚNIOR, C. M.; CARASEK, H. Índices de chuva dirigida direcional e análise do nível de umedecimento em fachadas de edifício multipavimentos em Goiânia, GO. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p 23-37, jul./set. 2011. ISSN 1678-8621

MENDES, N. **Modelos para previsão da transferência de calor e de umidade em elementos porosos de edificações.** 1997. 248 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

MITROPOULOS, A. C. Capillarity. **Journal of Engineering Science and Technology Review**, pp 28-32, 2009

NAPPI, S. C B. **Uma solução alternativa para prorrogação da vida útil dos rebocos com salinidade em edifícios históricos.** 2002. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

OLIVEIRA, J. M. P.O. **Estudo da durabilidade e eficácia da ação de repelentes de água em fachadas de edifícios recentes.** 2016. 174 f. Dissertação (Mestrado em Construções) – Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, 2013.

PÁSCOA, L. S. N. **Índice de secagem como parâmetro em serviço dos rebocos aplicados em paredes exteriores.** 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

PETRUCCI, H. M. C. **A alteração da aparência das fachadas dos edifícios: interação entre as condições ambientais e a forma construída.** 2000. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RATO, V. N. P. M. **Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas.** 2006. 316 f. Tese (Doutorado em Reabilitação do Patrimônio Edificado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.

RESENDE, M. M. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios: limpeza de revestimentos cerâmicos.** 2004. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

RIGHI, G. V. **Estudo dos sistemas de impermeabilização: patologias, prevenções e correções – Análise de casos.** 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

ROSCOE, M. T. **Patologias em revestimento cerâmico de fachada.** 2008. 81 f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SAAD, D. S. **Métodos Bioquímicos e moleculares para a avaliação da biodeterioração em tintas residenciais.** 2002. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

SALOMÃO, M. C. F. **Estudo da estrutura das argamassas de revestimento e sua influência nas propriedades de transporte de água.** 2016. 247 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SANTOS, F. L. G.; ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. **Influência da cinza pesada em substituição ao agregado natural nos mecanismos de transferência de umidade em argamassas.** Revista Matéria, v. 12, n. 2, pp. 253 – 268, 2007. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10708>>. Acesso em: 20 ago. 2016.

SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS).** 2005. 164 f. Trabalho de Conclusão (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

SAYEGH, S. Cimentos e polímeros contra a umidade. **Revista Técnica**, São Paulo, n. 56, p. 42-44, nov. 2001.

SENTONE, D. T. **Desenvolvimento de método para medida de permeabilidade superficial de revestimentos de argamassa.** 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SERAFIM, A. C. M. **Análise *in-situ* do comportamento físico de argamassas de revestimento de fachadas.** 2012. 169 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

SHIRAKAWA, M. A.; MONTEIRO, M. B. B.; SELMO, S. M. S.; CINCOTTO, M. A. Identificação de fungos em revestimentos de argamassa com bolor evidente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. 1995, **Anais...** Goiânia. p. 402-410.

SILVA, V. M. B.; ROCHA, L. A. L.; TORRES, S. A.; PALIGA, C. M. Levantamento de manifestações patológicas em fachadas de habitações de interesse social na cidade de Pelotas/RS: Residencial Solar das Palmeiras. **Revista de Arquitetura IMED**, 5 (2): 85-103, jul./dez. 2016 – ISSN 2318-1109.

SILVA, A. F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimentos argamassados. Estudo de caso em edifícios em Florianópolis.** 2007. 190 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

SILVA, D. D. S. **Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia.** 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Porto, 2012.

SOBRINHO, M. M. B. **Estudo da ocorrência de fungos e da permeabilidade em revestimentos de argamassa em habitações de interesse social – Estudo de caso na cidade de Pitangueiras/SP.** 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

SOUSA, M. M. F. **Patologia da construção – Elaboração de um catálogo.** 2004. 199 f. Dissertação (Mestrado em Construções de Edifícios) – Universidade do Porto, Porto, 2004.

SOUZA, J. C.S.; MELHADO, S. B. Parâmetros para seleção e projeto de impermeabilização de pisos do pavimento tipo de edifícios. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. 1997, **Anais...** Gramado.

STOLZ, M. C. **Influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento.** 2011. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações.** 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TEIXEIRA, P. D. M. **Avaliação do risco no comportamento face à água de elementos construtivos em fachadas de edifícios correntes.** 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

TEMP, A. L. **Avaliação de revestimentos de argamassa à permeabilidade ao vapor de água.** 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Pini, 1992.

TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. **Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil**. Boletim Técnico. ALCONPAT. México, 2013.

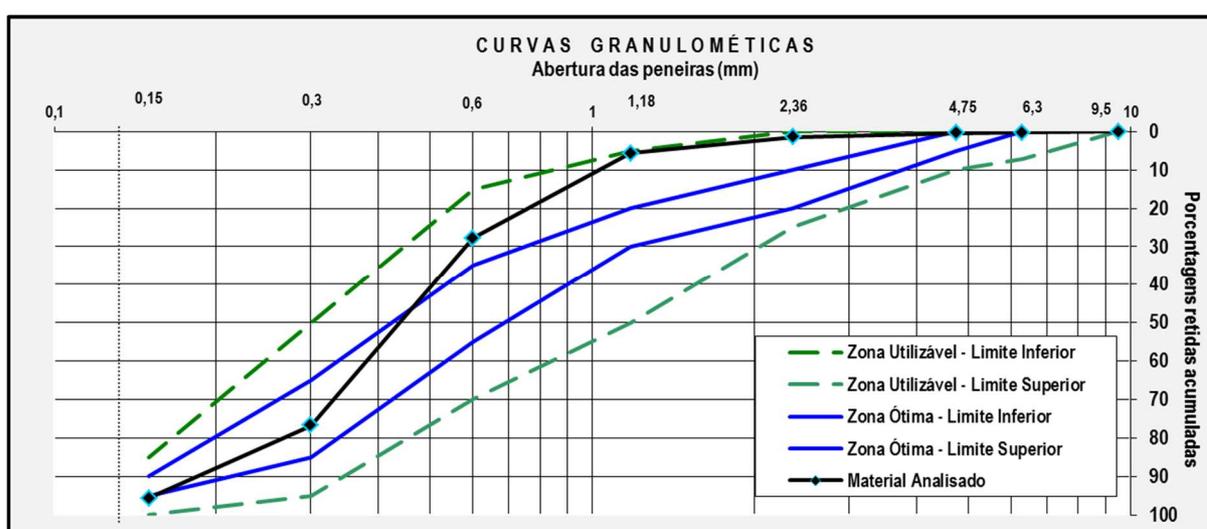
VEIGA, M. R. **Comportamento de argamassas de revestimento de paredes – contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação**. 1998. 458 f. Dissertação (Doutor em Engenharia Civil) – Universidade do Porto, Florianópolis, 1998.

VICENTE, R. **Patologia das paredes de fachada – Estudo do comportamento mecânico das paredes de fachada com correção exterior das pontes térmicas**. 2002. 292 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Coimbra, Coimbra, 2002.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. 2015. 313 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

APÊNDICE A – CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO E CIMENTO

ENSAIOS FÍSICOS AGREGADO MIÚDO - AREIA MÉDIA							
MASSA ESPECÍFICA (NBR NM 52/2009)							
Peso amostra (g):				500			
Leitura volume média (cm ³):				389,5			
Massa específica média (g/cm ³):				2,64			
MASSA UNITÁRIA SOLTA (NBR NM 45/2006)							
Peso amostra média (kg):				31,5			
Volume (dm ³):				20,1			
Massa unitária média (kg/dm ³):				1,57			
COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (NBR NM 248/2003)							
Peneiras		1ª amostra		2ª amostra		% retida média	% retida acumulada
nº	mm	Peso retido (g)	% retida	Peso retido (g)	% retida		
3/8"	9,5	0	0,00%	0	0,00%	0,00%	0,00%
1/4"	6,3	3,84	0,28%	2,53	0,19%	0,23%	0,23%
4	4,75	2,63	0,19%	2,43	0,18%	0,19%	0,42%
8	2,36	14,66	1,05%	12,96	0,97%	1,01%	1,43%
16	1,18	58,24	4,19%	58,55	4,36%	4,28%	5,71%
30	0,6	295,05	21,21%	305,91	22,80%	22,01%	27,72%
50	0,3	673,24	48,40%	668,67	49,84%	49,12%	76,84%
100	0,15	275,68	19,82%	240,48	17,92%	18,87%	95,71%
Fundo		67,64	4,86%	50,22	3,74%	4,30%	100,00%
Total		1390,98	100,00%	1341,75	100,00%	100,00%	208,06%
Diâmetro máximo:		2,4 mm	nº 8	Módulo de finura:		2,08	



ENSAIOS FÍSICOS DO CIMENTO CP IV - 32	
FINURA NA PENEIRA ABNT Nº 200 (NBR 11579/2013)	
Peso amostra (g):	50
Peso retido médio (g):	0,39
% retida média	0,78
Finura média %	0,78
TEMPO DE PEGA (NBR NM 65/2003)	
Peso amostra (g):	500
Peso da água (g):	155
Consistência %	31
Início de pega (h):	04:30
Fim de pega (h):	05:45
MASSA ESPECÍFICA (NBR NM 23/2001)	
Peso amostra (g):	50
Leitura volume (cm ³):	18,2
Massa específica média (g/cm ³):	2,75
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (NBR 7215/1996)	
1 dia (MPa)	13,3
3 dias (MPa)	27,6
7 dias (MPa)	33,8
28 dias (MPa)	44,1

APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO HIDRO1	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção da pintura	-	-	-	-	h	72125 (88316)	13,56	0,53	7,19	7,19
Revestimento HIDRO1	1	15,25	0,7	10,68	h	88310	18,75	0,26	4,88	15,55
Fundo preparador	1	10,86	0,06	0,65	h	88310	18,75	0,025	0,47	1,12
R\$ Custo total do revestimento =										31,16

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO AS-PSP	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção da pintura	-	-	-	-	h	72125 (88316)	13,56	0,53	7,19	7,19
Revestimento AS-PSP	kg	1,57	4	6,27	h	88310	16,75	0,27	4,52	10,79
Fundo preparador	1	10,86	0,06	0,65	h	88310	18,75	0,025	0,47	1,12
R\$ Custo total do revestimento =										26,40

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO HIDRO2	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção da pintura	-	-	-	-	h	72125 (88316)	13,56	0,53	7,19	7,19
Revestimento HIDRO2	1	15,99	0,31	4,93	h	88310	18,75	0,39	7,31	12,24
Fundo preparador	1	10,86	0,06	0,65	h	88310	18,75	0,025	0,47	1,12
R\$ Custo total do revestimento =										27,85

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO HIDRO3	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção da pintura	-	-	-	-	h	72125 (88316)	13,56	0,53	7,19	7,19
Revestimento HIDRO3	1	41,40	0,6	24,84	h	88310	18,75	0,26	4,88	29,72
Revestimento Natural	1	35,50	0,18	6,39	h	88310	18,75	0,13	2,44	8,83
R\$ Custo total do revestimento =										53,03

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO HIDRO4	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção da pintura	-	-	-	-	h	72125 (88316)	13,56	0,53	7,19	7,19
Revestimento HIDRO4	1	41,40	0,36	14,90	h	88310	18,75	0,26	4,88	19,78
Revestimento Natural	1	35,50	0,18	6,39	h	88310	18,75	0,13	2,44	8,83
R\$ Custo total do revestimento =										43,10

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO AS-ACIII	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção da pintura	-	-	-	-	h	72125 (88316)	13,56	0,53	7,19	7,19
Revestimento ACIII	kg	1,70	4	6,80	h	88309	16,75	0,29	4,86	11,66
Fundo preparador	1	10,86	0,06	0,65	h	88310	18,75	0,025	0,47	1,12
R\$ Custo total do revestimento =										27,27

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO AS-PB	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção da pintura	-	-	-	-	h	72125 (88316)	13,56	0,53	7,19	7,19
Revestimento PB	kg	9,26	2,85	26,40	h	88309	16,75	0,36	6,03	32,43
Fundo preparador	1	10,86	0,06	0,65	h	88310	18,75	0,025	0,47	1,12
R\$ Custo total do revestimento =										48,04

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO AP-IND-RM	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção reves. arg. antigo	-	-	-	-	h	73802/1 (88316)	13,56	0,5	6,78	6,78
Revestimento IND-RM	kg	0,40	30	12	h	88309	16,75	0,45	7,54	19,54
Cimento CP IV - chapisco	kg	0,56	2	1,12	h	88309	16,75	0,05	0,84	2,23
Areia média - chapisco	m ³	52,00	0,0053	0,28						
R\$ Custo total do revestimento =										35,85

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO AP-DO-L	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção reves. arg. antigo	-	-	-	-	h	73802/1 (88316)	13,56	0,5	6,78	6,78
Aditivo líquido - revestimento	l	9,25	0,8	7,4	h	88309	16,75	0,7	11,725	24,38
Cimento CP IV - reves.	kg	0,56	7,1	3,98						
Areia média - revestimento	m ³	52,00	0,0246	1,28						
Aditivo de aderência - chap.	l	30,00	0,4	12	h	88309	16,75	0,16	2,68	17,47
Cimento CP IV - chapisco	kg	0,56	4	2,24						
Areia média - chapisco	m ³	52,00	0,0106	0,55						
R\$ Custo total do revestimento =										55,93

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO AP-IND-I1	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção reves. arg. antigo	-	-	-	-	h	73802/1 (88316)	13,56	0,5	6,78	6,78
Revestimento IND-I1	kg	0,80	33	26,4	h	88309	16,75	0,48	8,04	34,44
R\$ Custo total do revestimento =										48,52

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO AP-DO-P	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção reves. arg. antigo	-	-	-	-	h	73802/1 (88316)	13,56	0,5	6,78	6,78
Aditivo pó - revestimento	kg	11,92	0,14	1,67	h	88309	16,75	0,62	10,385	17,34
Cimento CP IV - reves.	kg	0,56	6,37	3,57						
Areia média - revestimento	m ³	52,00	0,033	1,72						
Cimento CP IV - chapisco	kg	0,56	2	1,12	h	88309	16,75	0,05	0,84	2,23
Areia média - chapisco	m ³	52,00	0,0053	0,28						
R\$ Custo total do revestimento =										33,65

COMPOSIÇÃO DE CUSTO/m ²										
REVESTIMENTO AP-IND-I2	MATERIAL				MÃO DE OBRA				R\$ CUSTO TOTAL	
	Un	R\$ Custo do material	Coefficiente	R\$ Custo total do material	Un	Código SINAPI Ago./2016	R\$ Custo de mão de obra	Coefficiente		R\$ Custo total da mão de obra
Limpeza da fachada	1	6,00	0,2	1,2	h	73806/1 (88316)	13,56	0,45	6,10	7,30
Remoção reves. arg. antigo	-	-	-	-	h	73802/1 (88316)	13,56	0,5	6,78	6,78
Revestimento IND-I2	kg	1,05	25	26,25	h	88309	16,75	0,42	7,035	33,29
R\$ Custo total do revestimento =										47,37