

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

**Cláudio Vaz Pinto Monteiro**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ARGAMASSA PARA  
REJUNTAMENTO BRANCO DE FACHADAS**

Porto Alegre  
janeiro de 2018

**CLÁUDIO VAZ PINTO MONTEIRO**

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ARGAMASSA PARA  
REJUNTAMENTO BRANCO DE FACHADAS**

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

**Orientadora: Dra. Angela Borges Masuero**

**Coorientadora: Dra. Lais Zucchetti**

Porto Alegre

janeiro de 2018

Dedico esta, bem como todas as minhas demais conquistas, a minha amada mãe, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, me apoiando nos momentos de dificuldades, iluminando sempre o melhor caminho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha mãe, meu anjo da guarda, que me apoia, me dá forças e sempre me deu as ferramentas necessárias para meu sucesso. É com certeza a pessoa mais especial que conheci na minha vida. Por isso, mais uma vez agradeço por ter essa oportunidade incrível de ser seu filho.

Agradeço a Josiane, meu amor, que há dois anos traz felicidade a minha vida, sempre meiga e carinhosa, sempre compreensiva, motivadora. Enfim, alguém para compartilhar minhas conquistas.

Agradeço também a minha orientadora, professora Dra. Angela Borges Masuero, que desde o estágio obrigatório, se tornou uma amiga e um exemplo. É uma professora para se admirar, dá suporte aos alunos dentro e fora da sala de aula como poucos professores. Agradeço sua contribuição para o curso bem como para minha formação.

Agradeço a minha coorientadora, Dra. Lais Zuchetti. A Lais é uma pessoa que soma, é alguém que se mostra à disposição, com vontade de ajudar. Seu nome não está só na capa, mas em todo o trabalho. Sua experiência e parceria foram fundamentais para todos os resultados desta pesquisa.

Agradeço a todos os amigos e familiares que me deram apoio e motivação para alcançar meus objetivos. E, por fim, agradeço aos laboratoristas da UFRGS que tornaram possível a realização dos ensaios sendo, tanto através da manutenção das máquinas, quanto através do auxílio com a moldagem e execução dos ensaios.

*“Para nós os grandes homens não são aqueles que resolveram os problemas, mas aqueles que os descobriram.”*

(Albert Schweitzer)

## RESUMO

Monteiro, C. V. P. M. Avaliação de desempenho de argamassa para rejuntamento branco de fachadas. 2018. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

A publicação da norma de desempenho NBR15575 (ABNT, 2013) gerou uma nova preocupação para os construtores brasileiros, referente à utilização de materiais duráveis que atinjam um nível de serviço adequado, isso se torna mais relevante quando da execução de revestimentos externos, devido às intempéries impostas. A importância de manter um bom aspecto da edificação não é só uma questão estética, mas também normativa e conseqüentemente legal. Desta forma, este trabalho avaliou o desempenho de diferentes fabricantes de argamassas para rejuntamento de cor branca, que apresentam material à base cimentícia, específicas para ambiente externo (fachadas), popularmente conhecidos como rejuntas. O material usado para vedação das juntas de assentamento é um dos principais componentes para a conservação das obras que apresentam revestimento cerâmico aderido, além de ser relevante frente ao aparecimento de manifestações patológicas. A importância deste estudo ocorre não só pela necessidade de atendimento à norma de desempenho, mas também pela quase inexistência de pesquisas sobre a argamassa de rejunte em relação aos requisitos da norma NBR 14992:2003. Neste trabalho, selecionou-se três diferentes marcas de argamassa para rejuntamento disponíveis no mercado e os ensaios dividiram-se em duas partes: ensaios de caracterização e ensaios de envelhecimento. Para caracterização foram realizados ensaios de compressão, tração na flexão, módulo de deformação, permeabilidade e absorção de água, a fim de verificar se as argamassas para rejuntamento cumpriam os requisitos mínimos normatizados. Surpreendentemente, duas das três marcas não atingiram o mínimo exigido, ou seja, estavam aquém do esperado para o rejuntamento externo. Os ensaios de envelhecimento foram realizados através da moldagem de placas de argamassas submetidas à envelhecimento natural e a envelhecimento acelerado após 28 dias de cura em ambiente climatizado (temperatura de 23°C e umidade relativa do ar de 60%). As placas expostas à envelhecimento natural foram dispostas em suporte presente na CIENTEC, submetidas às condições naturais do clima durante 28 dias. Para o envelhecimento acelerado os corpos de prova foram colocados em câmara de envelhecimento, presente no LAMTAC. A câmara produz orvalho e exposição à luz ultravioleta, os mesmos foram deixados na câmara por vinte e oito dias. Para a avaliação da alteração provocada pelo envelhecimento, foram realizados dois ensaios: alteração cromática, com auxílio de espectrofotômetro e alteração do ângulo de contato com a gota de água, com auxílio de um goniômetro. Após a realização de todos os ensaios (envelhecimento e caracterização) foi possível verificar diferenças relevantes entre os fabricantes de argamassas para rejuntamento externo, tanto em relação às exigências da norma, quanto em relação ao envelhecimento. Desta forma verificou-se a importância deste estudo, que poderá servir como base para futuras pesquisas.

**Palavras-chave:** argamassa para revestimento. Comparação. Desempenho.

## ABSTRACT

Monteiro, C. V. P. Performance evaluation of mortar for white grouting of façades. 2018. Diploma Work (Undergraduate in Civil Engineering).

There is a new concern of Brazilian manufacturers, especially since the publication of the performance standard NBR15575 (ABNT, 2013), which is to employ durable materials that achieve an adequate level of service, this becomes more relevant when it is related to the facades. The importance of maintaining a good aspect of building is not only aesthetic, but also normative and consequently legal. Therefore, this work evaluated the performance of different manufacturers of grouting mortars that present cement-based materials in white color, specific to external environment (façades), popularly known as grouts. The material used for sealing joints is one of the main factors for the conservation of works that have adhered ceramic coating, besides being relevant to the appearance of pathological manifestations. The importance of the comparison is not only due to the standard of performance, but also due to the lack of research on the mortar in relation to the requirements of its norm NBR 14992: 2003. In order to carry out the comparisons, three mortar manufacturers were selected for grouting, among the most outstanding brands in the market. The tests were divided into two parts: characterization tests and aging tests. For characterization, compression tests, flexural traction, modulus of deformation, permeability and water absorption were performed. These tests were used to verify that the grouting mortars met the minimum standard requirements. Surprisingly, two of the three brands did not reach the required minimum, ie, they were lower than expected for the external grouting. Only one of the brands was able to obtain a satisfactory result in relation to the norm, according to the chapter of conclusions. In a second stage of this work, the aging tests were carried out. For these tests mortar plates were molded which were arranged to natural aging and accelerated aging. The plaques exposed to natural aging were placed on a support present in CIENTEC and were conditioned for twenty eight days. For accelerated aging the specimens were placed in an aging chamber, present in the LAMTAC. The chamber produces dewatering and exposure to ultraviolet light, they were left in the chamber for twenty eight days. For the evaluation of the alteration caused by aging, two tests were performed: chromatic alteration, using spectrophotometer and change of contact angle with water drop, with the aid of a goniometer. After all the tests (aging and characterization), it was possible to verify relevant differences between the manufacturers of mortars for external grouting, both in relation to the requirements of the standard and in relation to aging. Thus, we verified the importance of this study, which may serve as a basis for future research.

**Keywords:** mortar for coating. Facades. Performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas do revestimento cerâmico aderido .....	28
Figura 2 - Pigmentos para argamassas .....	35
Figura 3 - Fatores causadores da degradação nas fachadas .....	42
Figura 4 - As manifestações patológicas mais frequentes encontradas no trabalho de Alves (2008) .....	43
Figura 5 – Localização das manifestações patológicas .....	43
Figura 6 - Distribuição percentual de manifestações patológicas em edifícios com 10 anos e 40 anos .....	52
Figura 7 - Eflorescência em argamassas para rejuntamento .....	54
Figura 8 - Fissuras em argamassas para rejuntamento .....	55
Figura 9 – Diagrama dos ensaios de caracterização .....	57
Figura 10 – Diagrama dos ensaios de envelhecimento .....	57
Figura 11 - Moldes para os corpos de prova cilíndricos .....	59
Figura 12 – Ensaio de módulo em andamento .....	60
Figura 13 – Corpos de prova utilizados no ensaio de tração na flexão .....	61
Figura 14 – Ensaio de tração na flexão em andamento .....	62
Figura 15 – Ensaio de permeabilidade em andamento .....	63
Figura 16 – Ensaio de absorção em andamento .....	65
Figura 17 – Placas em repouso na câmara climatizada .....	66
Figura 18 - Forma usada para moldar as placas .....	66
Figura 19 - Esquema de funcionamento da câmara UV e umidade .....	68
Figura 20 - Câmara de envelhecimento acelerado: (a) disposição das lâmpadas e (b) disposição dos cp's .....	68
Figura 21- Planta de localização dos ensaios (ponto em destaque) .....	70
Figura 22 – Exemplo de suporte para apoio dos corpos de prova de argamassa para envelhecimento natural: a) suporte dos cp's; b) exemplo de disposição dos cp's.....	71
Figura 23 - Espectrofotômetro portátil CM-2500d .....	72
Figura 24 - Espaço de cores do sistema CIELAB .....	73
Figura 25 - Ângulo da gota d'água com a superfície (a) hidrofílica e (b) hidrófoba ...	74
Figura 26 - Goniômetro usado para medição do ângulo da água com a superfície ..	75
Figura 27 – Evolução da permeabilidade média em relação ao tempo de ensaio ....	80



Figura 28 – Absorção total média em função do tempo .....82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vida útil de projeto mínima e superior (VUP) .....	40
Tabela 2 – Resistência à compressão aos 14 dias para diferentes corpos de prova de argamassas para rejuntamento .....	76
Tabela 3 – Módulos de deformação das argamassas para rejuntamento aos 28 dias .....	78
Tabela 4 – Resultados do ensaio de tração na flexão.....	78
Tabela 5 - Resultado do ensaio de permeabilidade ao longo do tempo de argamassas para rejuntamento aos 28 dias .....	79
Tabela 6 - Média dos resultados de permeabilidade em relação à duração do ensaio .....	80
Tabela 7 - Resultados do ensaio de absorção por capilaridade.....	81
Tabela 8 - Absorção total média por fabricante.....	81
Tabela 9 - Ângulo de contato das amostras que foram colocadas na câmara climatizada .....	83
Tabela 10 – Fotos de referência e após 28 dias, tiradas com o goniômetro para os corpos que ficaram acondicionados na câmara climatizada .....	84
Tabela 11 -Ângulo de contato das amostras que foram colocadas na câmara de intemperismo.....	85
Tabela 12 - Fotos de referência e após 28 dias, tiradas com o goniômetro para os corpos que ficaram acondicionados na câmara de intemperismo.....	86
Tabela 13 – Ângulo de contato das amostras que foram colocadas na CIENTEC ...	88
Tabela 14 - Fotos de referência e após 28 dias, tiradas com o goniômetro para os corpos que ficaram acondicionados na CIENTEC .....	89
Tabela 15 - Alteração cromática média das amostras que foram colocadas na câmara de intemperismo.....	92
Tabela 16 - Alteração cromática das amostras que foram colocadas na CIENTEC .	93
Tabela 17 - Alteração cromática das amostras que foram colocadas na câmara climatizada .....	93
Tabela 18 – Alteração total de cor média das amostras por local de acondicionamento .....	96

Tabela 19 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão das argamassas aos 28 dias .....	105
Tabela 20 – Parâmetros de cor do sistema CIELAB dos cp's ensaiados.....	107

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Etapas da pesquisa.....	21
Quadro 2 - Função e propriedades das argamassas para rejuntamento .....	30
Quadro 3 - Classificação das argamassas para rejuntamento .....	31
Quadro 4 - Principais pigmentos .....	34
Quadro 5 - Metodologia para previsão da vida útil.....	39
Quadro 6 - Comprimentos de onda UV .....	45
Quadro 7 - Origem e presença da umidade nos revestimentos .....	48
Quadro 8 – Quadro comparativo dos resultados individuais das marcas em relação ao cumprimento dos requisitos mínimos da ABNT NBR 14992:2003 .....	95

## **LISTA DE SIGLAS**

ANSI – American National Standards Institute

ASTM – American Society for Testing and Materials

BSI – British Standards Institution

CIE – International Commission on Illumination

CIENTEC - Fundação da Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul

EN – European Standard

ISO – International Organization for Standardization

LACER – Laboratório de Materiais Cerâmicos

LAMTAC - Laboratório de Materiais e Tecnologias do Ambiente Construído

NORIE - Núcleo Orientado Para Inovação na Edificação

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UV – Ultravioleta

VU – Vida Útil

VUP - Vida Útil de Projeto

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.1	QUESTÃO DE PESQUISA .....	19
1.2	OBJETIVO DO TRABALHO .....	19
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo principal:.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos secundários:.....</b>	<b>19</b>
1.3	HIPÓTESE DE PESQUISA.....	19
1.4	PRESSUPOSTOS.....	19
1.5	PREMISSA.....	20
1.6	DELIMITAÇÕES .....	20
1.7	DELINEAMENTO .....	20
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>23</b>
2.1	SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL .....	23
<b>2.1.1</b>	<b>Revestimentos Externos .....</b>	<b>24</b>
2.1.1.1	Revestimentos cerâmicos aderidos para fachadas.....	26
2.2	ARGAMASSA PARA REJUNTAMENTO .....	29
<b>2.2.1</b>	<b>Tipos de Rejuntas .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Composição da argamassa para rejuntamento.....</b>	<b>32</b>
2.2.2.1	Cimento Portland .....	33
2.2.2.2	Agregados minerais .....	33
2.2.2.3	Pigmentos .....	34
2.2.2.4	Aditivos químicos .....	35
2.3	DURABILIDADE.....	36
2.4	VIDA ÚTIL .....	37
2.5	DEGRADAÇÃO DOS REVESTIMENTOS .....	40
<b>2.5.1</b>	<b>Efeitos do Clima Sobre as Fachadas.....</b>	<b>44</b>
2.5.1.1	Radiação Solar .....	44
2.5.1.2	Temperatura .....	46
2.5.1.3	Umidade.....	47
2.5.1.4	Ventos.....	49
2.6	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ARGAMASSA PARA REJUNTAMENTO.....	50
<b>2.6.1</b>	<b>Alteração de Cor.....</b>	<b>52</b>

<b>2.6.2</b>	<b>Eflorescências em Juntas .....</b>	<b>53</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Fissuras em Juntas.....</b>	<b>54</b>
<b>3</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL – METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
<b>3.1</b>	<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS.....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Resistência à Compressão.....</b>	<b>58</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Módulo de Deformação Estático na Compressão .....</b>	<b>59</b>
<b>3.1.3</b>	<b>Resistência à Tração na Flexão .....</b>	<b>61</b>
<b>3.1.4</b>	<b>Permeabilidade.....</b>	<b>63</b>
<b>3.1.5</b>	<b>Absorção por Capilaridade .....</b>	<b>64</b>
<b>3.2</b>	<b>INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO NO DESEMPENHO.....</b>	<b>65</b>
<b>3.2.1</b>	<b>Ensaio em Câmara de Envelhecimento Acelerado .....</b>	<b>67</b>
3.2.1.1	Definições .....	67
3.2.1.2	Procedimentos .....	67
<b>3.2.2</b>	<b>Ensaio de Envelhecimento Natural.....</b>	<b>69</b>
3.2.2.1	Definição .....	69
3.2.2.2	Procedimento.....	69
<b>3.3</b>	<b>CRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DO ENVELHECIMENTO.....</b>	<b>71</b>
<b>3.3.1</b>	<b>Ensaio de Alteração Cromática .....</b>	<b>71</b>
<b>3.3.2</b>	<b>Ensaio do Ângulo de Contato da Gota de Água com a Superfície .....</b>	<b>73</b>
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
<b>4.1</b>	<b>PROPRIEDADES MECÂNICAS .....</b>	<b>76</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Resistência à Compressão.....</b>	<b>76</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Módulo de Deformação.....</b>	<b>77</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Resistência à Tração na Flexão .....</b>	<b>78</b>
<b>4.2</b>	<b>PROPRIEDADES RELACIONADAS À DURABILIDADE .....</b>	<b>79</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Permeabilidade aos 240 Minutos.....</b>	<b>79</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Absorção de Água por Capilaridade aos 300 Minutos.....</b>	<b>80</b>
<b>4.3</b>	<b>INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO NO DESEMPENHO.....</b>	<b>82</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Alteração do Ângulo de Contato com a Gota de Água .....</b>	<b>82</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Alteração Cromática .....</b>	<b>91</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>95</b>
<b>5.1</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>96</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>98</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>104</b>

<b>ANEXO B.....</b>	<b>106</b>
---------------------	------------



# 1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos de fachada são o cartão de visita da edificação. Segundo Valiati (2009), o revestimento cerâmico, hoje em dia, é um dos mais atraentes sistemas de vedação para os construtores, pois além de esteticamente agradáveis são relativamente baratos e de boa durabilidade. Devido a esses fatores, ao longo dos anos, o mercado da construção civil tem desenvolvido diferentes opções de argamassa para rejuntamento que substituem a tradicional pasta de cimento, estes são produtos industrializados com incorporação de aditivos e pigmentos, comercializados por diversas empresas no mercado brasileiro.

Em fachadas compostas por materiais de baixa absorção, que é o caso de edificações com revestimento cerâmico aderido, a junta entre os elementos cerâmicos pode ser considerada como o ponto mais vulnerável do sistema. Portanto a durabilidade dessas fachadas está relacionada diretamente ao nível de degradação do material que preenche as juntas de assentamento. Mas, apesar dos conhecimentos técnicos sobre os requisitos de desempenho normatizados, ainda é incipiente o conhecimento sobre a durabilidade dos materiais cimentícios industrializados para o rejuntamento de fachadas com peças cerâmicas.

A publicação da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) gerou no setor da construção civil brasileira uma preocupação em executar edificações com maior potencial de durabilidade. Hoje, o tempo médio de vida útil de projeto de um sistema de revestimento externo, de acordo com esta norma, é de pelo menos 40 anos. Mesmo assim, há uma grande incidência de manifestações patológicas em sistemas construtivos de fachadas, especificamente quando fala-se em revestimentos cerâmicos aderidos.

Apesar dos avanços tecnológicos na construção civil, as edificações continuam apresentando falhas que comprometem a habitabilidade e a aparência das construções, gerando desconforto aos usuários. Desta forma, surge a necessidade de estudos que permitam desenvolver metodologias alternativas que possam estabelecer parâmetros e índices para caracterizar e diagnosticar de forma mais eficiente as falhas comuns em fachadas. Ainda, as novas pesquisas devem buscar

entender o comportamento das variáveis que interferem no surgimento das diversas manifestações patológicas nos sistemas de vedação como um todo.

Este trabalho tem como objetivo a análise de desempenho de argamassas para rejuntamento branco em fachadas. O produto em questão é extremamente relevante para o bom desempenho do revestimento cerâmico nas vedações, pois sua falha é uma das causas dos descolamentos de placas devido ao aparecimento de diversas manifestações patológicas no revestimento. Sendo assim, foram selecionadas três marcas disponíveis no mercado para a avaliação de desempenho, estes produtos foram caracterizados e analisados no Laboratório de Materiais e Tecnologia do Ambiente Construído da UFRGS (LAMTAC/NORIE/UFRGS), com vistas a verificar o comportamento destes produtos ao longo do tempo, identificando se os mesmos possuem requisitos mínimos de desempenho para serem empregados em fachadas.

A pesquisa se justificou pela necessidade de minimizar os danos causados pelo tempo ao revestimento externo tanto no próprio rejunte quanto nos elementos adjacentes, nas placas cerâmicas e no interior das paredes externas. E por também viabilizar um estudo comparativo que comprove a durabilidade das argamassas para rejuntamento branco que possuem indicação para uso em fachadas.

Nesse capítulo introdutório serão explicados os métodos de pesquisa e seus objetivos, limitações, delimitações e delineamento, expondo as características iniciais nas quais o trabalho se fundamentou. No capítulo 2, foi desenvolvida a revisão bibliográfica, dividida da seguinte forma: primeiro foram abordados os revestimentos externos, seguidos de sua degradação e seu envelhecimento, bem como as características e falhas da argamassa para rejuntamento externo. O capítulo 3 se destina aos ensaios empregados e suas metodologias. Neste serão expostos os métodos através dos quais foram analisados os corpos de prova das argamassas para rejuntamento que deram origem aos resultados deste trabalho. E, finalmente, no capítulo 4 tem-se os resultados dos ensaios de caracterização e envelhecimento com sua respectiva análise e discussão.

## 1.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: existem diferenças no desempenho de argamassas industrializadas de rejunte branco para aplicação externa?

## 1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

Os objetivos deste trabalho são:

### 1.2.1 Objetivo principal:

O objetivo principal desta pesquisa consiste em avaliar o desempenho de argamassas de rejunte branco para aplicação em sistemas de revestimento externo.

### 1.2.2 Objetivos secundários:

- identificar diferenças no comportamento de argamassas brancas para rejuntamento externo;
- comparar o envelhecimento natural de amostras de rejuntamento branco com aquelas submetidas ao envelhecimento acelerado;

## 1.3 HIPÓTESE DE PESQUISA

A hipótese da pesquisa é que as diferentes marcas comercializadas de argamassas de rejuntamento externo na cor branca possuam características e desempenho frente ao envelhecimento semelhantes.

## 1.4 PRESSUPOSTOS

O trabalho pressupõe que a câmara de envelhecimento reproduza condições suficientes para aceleração do processo de desgaste das amostras de argamassa avaliadas nesta pesquisa.

## 1.5 PREMISSA

Os empreendimentos vêm apresentando muitos problemas de durabilidade e redução de desempenho dos revestimentos cerâmicos e de sua estética devido a problemas nas juntas de assentamento onde se utiliza a argamassa para rejuntamento na cor branca. Tendo isso em vista, buscou-se uma comparação de argamassas para rejuntamento, com essas características, de diferentes fornecedores para verificar a existência de incompatibilidades/diferenças de desempenho.

## 1.6 DELIMITAÇÕES

Seguem as delimitações do trabalho:

- as argamassas para rejuntamento avaliadas nesta pesquisa destinam-se à aplicação externa;
- as argamassas para rejuntamento testadas são da cor branca;
- foram selecionados três fornecedores de argamassas branca para rejuntamento externo de fachadas;
- o trabalho não vai propor soluções caso sejam encontradas variações na qualidade das argamassas. Para eventual não atingimento de critérios mínimos normatizados, nos ensaios de caracterização.

## 1.7 DELINEAMENTO

O delineamento do trabalho:

- pesquisa bibliográfica;
- levantamento de marcas comercializadas/ fornecedores;
- planejamento dos experimentos;
- realização dos ensaios;
- apresentação e análises dos resultados.

Essas etapas estão esquematizadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Inicialmente foi realizada a pesquisa bibliográfica para sustentar as bases teóricas do trabalho, sendo que este processo permeou as demais etapas, fornecendo embasamento para o desenvolvimento global deste trabalho. O estudo inicial por referenciais teóricos teve intuito de aprimorar o conhecimento sobre o tema. Buscou-se dessa maneira, apresentar referenciais normativos para os conceitos e ensaios. Essa normatização forneceu não só os métodos de ensaios, mas também as características de desempenho para as argamassas para rejuntamento.

Na segunda etapa foi realizada uma pesquisa para identificar diferentes fabricantes que dispõem de argamassa para rejuntamento externo na cor branca. Dentre estas foram escolhidas três que possuem um mercado expressivo no Rio Grande do Sul e no Brasil, bem como apresentam produtos com alta variação no preço, justificando o estudo de desempenho destes materiais.

Em uma terceira etapa foram realizados os ensaios de caracterização e de desempenho tais como: ensaio de compressão, tração na flexão, módulo de deformação na compressão, permeabilidade, absorção, alteração de cor, ângulo de

contato com a gota d'água, esses dois últimos com o intuito de avaliar o envelhecimento acelerado e natural das argamassas de rejunte brancas.

Na quarta etapa foram feitas as análises dos dados coletados a fim de identificar o desempenho de cada uma das argamassas para rejuntamento externo branco, bem como a influência dos métodos de envelhecimento nas propriedades que foram avaliadas, consideradas relevantes para o bom desempenho do sistema de vedações.

Por fim, realizou-se as conclusões referentes aos ensaios, considerando os resultados obtidos, identificando se o envelhecimento acelerado gerou implicações, considerando o desempenho das argamassas de rejunte elencadas nesta pesquisa. Por fim, foram propostas sugestões para análise, considerando as diversidades encontradas nas características das argamassas para rejuntamento branco de fachadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Aqui serão abordados os conceitos que serviram como embasamento teórico das pesquisas e ensaios realizados neste trabalho. Este capítulo também tem o intuito de fornecer noções básicas sobre os temas abordados. Primeiro fazendo referência às fachadas das edificações para uma melhor compreensão do problema. Para, em seguida, apresentar informações sobre a degradação dos sistemas de vedação verticais externos, com foco na utilização de argamassa para rejuntamento com base cimentícia para o preenchimento das juntas de assentamento. E finalmente, introduzir, no próximo capítulo, as metodologias de ensaios que foram realizadas neste estudo.

### 2.1 SISTEMAS DE VEDAÇÃO VERTICAL

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define os sistemas de vedação como as partes da edificação que limitam a estrutura, sendo que esse sistema pode, mesmo sem função estrutural, trabalhar de forma a sofrer com deformações impostas pela ação das cargas da edificação. A vedação também serve para controlar a entrada de agentes indesejáveis, como pessoas, ruídos, sujeira e chuva, proporcionando ao ambiente conforto higrotérmico, acústico e segurança de utilização frente às ações excepcionais como incêndios. Dessa maneira, percebe-se que as vedações verticais são um dos principais subsistemas que condicionam o desempenho do edifício e ocupam posição estratégica entre os componentes das construções.

Assim, o sistema de vedação vertical deve servir, ao mesmo tempo, como um filtro seletivo e uma barreira para controlar ocorrência de diversas forças, tais como: pressão do vento e resistência a sismos; resistência à movimentação térmica e umidade; conservação de energia e controle do fluxo de calor entre o meio interior e exterior; resistência e controle à penetração de chuva; controle da migração do vapor de água e condensação; resistência acústica; resistência e contenção ao fogo; permitir iluminação natural para o ambiente interior e permitir circulação de ar entre o meio interior e exterior (GOLDBERG, 1998).

De acordo com Bauer (1987) o conforto, a segurança e a estabilidade dos usuários constituem elementos essenciais para os projetos de vedações verticais

externas, as quais devem apresentar padrões aceitáveis de comportamento frente às solicitações, quer sejam ambientais, biológicas, mecânicas, físicas ou químicas. As vedações externas da edificação formam a primeira barreira contra os agentes externos agressivos, como insolação, chuva e outros. Para tanto pode ser constituída por uma camada de revestimento composta por diversos materiais, como argamassa de reboco, cerâmica, pedra natural, porcelanato, elementos metálicos, dentre outros.

Segundo Lopes (2015), para que os sistemas de revestimentos apresentem desempenho aceitável quando submetido à ação direta das intempéries, como a variação de temperatura, chuva dirigida, dentre outras, em conjunto com as diferentes propriedades físicas e mecânicas dos materiais componentes, faz-se necessário efetuar estudos comparativos do comportamento em uso frente às diversas variantes que condicionam o surgimento e a evolução das manifestações patológicas em fachadas de edificações, mais especificamente, neste trabalho, fachadas com revestimento cerâmico aderido e suas juntas de assentamento.

Fazem parte do sistema de vedações verticais a alvenaria, as esquadrias e os revestimentos. Assim, com o intuito de que os sistemas de revestimentos apresentem desempenho aceitável quando submetido à ação direta das intempéries, como a variação de temperatura, chuva dirigida, em conjunto com as diferentes propriedades físicas e mecânicas dos materiais componentes, é importante necessário efetuar estudos comparativos do comportamento em uso frente às diversas variantes que condicionam o surgimento e a evolução das manifestações patológicas nos materiais, mais especificamente, de acordo com o foco deste trabalho, em fachadas com revestimento externo com uso de argamassa para rejuntamento de base cimentícia na cor branca.

### **2.1.1 Revestimentos Externos**

O bom estado do revestimento externo da obra é indispensável para o adequado desempenho da edificação, tanto no aspecto estético quanto no funcional, por isso é fundamental a revisão bibliográfica dos conceitos pertinentes ao mesmo (VALIATI, 2009).



De acordo com a NBR 13755 (ABNT, 2017), o revestimento externo é um conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas. É constituído pela estrutura suporte, alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final, cuja função é proteger a edificação da ação da chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação conjunta do vento e partículas sólidas, bem como dar acabamento estético. Segundo Sabatini (1989), o revestimento possui a função de proteção contra agentes externos que possam danificar a estrutura, além de propiciar isolamento termo acústico e estanqueidade à água e aos gases.

Os revestimentos têm como funções básicas regularizar a superfície, proteger as alvenarias e estruturas de concreto de forma a influenciar na durabilidade, bem como contribuir no desempenho geral dos fechamentos da edificação (SILVA, 2006).

Ainda nesta seção, é importante salientar o interesse das construtoras e dos proprietários em manter uma boa aparência externa nas edificações a fim de valorizar seus imóveis. Uma vez que, por mais que a edificação seja construída adequadamente, uma fachada com manifestações patológicas aparenta descaso e a execução inadequada de todo o empreendimento (VALIATI, 2009).

No estudo de Alves (2008), realizado entre 1999 e 2001, com análise de 39.000 casos de sinistros declarados às companhias seguradoras em Portugal, verificou-se que os sistemas de vedação externos apresentaram a maior frequência de problemas com incidência de manifestações patológicas quando comparado com outros elementos do edifício. Alves (2008) observou também que os defeitos de execução foram responsáveis pela maior parte desses problemas e que erros de concepção geram custos de reparação duas vezes e meia mais onerosas do que a reparação de qualquer outro tipo de problema.

Para Fiorito (1994) qualquer que seja a natureza do revestimento final de uma parede devemos sempre considerá-lo atrelado, fazendo parte do conjunto de todas as camadas suportes. Todas as camadas de um revestimento têm deformações próprias, quer devidas à sua secagem, como ocorre com as argamassas e o concreto, quer devido a esforços externos.

Como mencionado acima, faz-se necessário o estudo dos componentes das fachadas destes revestimentos, com destaque para as juntas de assentamento, que,

no caso de revestimentos cerâmicos aderidos utilizando juntas de argamassa, necessitam de material, execução e planejamento adequados para um desempenho satisfatório desta vedação.

#### **2.1.1.1 Revestimentos cerâmicos aderidos para fachadas**

A NBR 13816 (ABNT, 1997) define revestimento cerâmico como sendo o conjunto formado pelas placas cerâmicas, pela argamassa de assentamento e pelo rejunte. Segundo Valiati (2009), o sistema de revestimento cerâmico aderido é composto pela base, emboço, argamassa colante, placa cerâmica e argamassa para rejuntamento, sendo a camada de base formada pelas paredes de alvenaria, que no caso do revestimento cerâmico externo são as paredes de vedação do edifício e que podem ser de blocos cerâmicos ou blocos de concreto bem como os elementos da estrutura de concreto armado (vigas e lajes).

De acordo com Medeiros e Sabbatini (1994), os revestimentos cerâmicos se dividem em dois tipos de acordo com a técnica de construção e a forma como se comportam, são eles:

- aderidos: referem-se ao revestimento cerâmico tradicional cuja aplicação é feita diretamente sob a camada de base através de elemento cimentício.
- não aderidos: são aqueles não fixados na camada de base, precisam de suporte próprio (possuem como característica isolamento termo-acústico).

Segundo Toledo (2007), o revestimento cerâmico de fachada aderido é formado por um conjunto monolítico de camadas (inclusive o emboço de substrato) aderidas à base suporte da fachada do edifício (alvenaria ou estrutura), cuja capa exterior é constituída de placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo. Sobre essa definição Junginger (2003) afirma que esse conceito é aceito tanto para revestimentos externos como para revestimentos cerâmicos internos, variando só os requisitos de desempenho de um para o outro.

Embora a norma NBR 13816 (ABNT, 1997) desconsidere a camada de regularização como uma parte deste revestimento, Junginger (2003) descreve que o

revestimento cerâmico é composto por 3 camadas sucessivas de composições e materiais:

- camada de regularização;
- camada de fixação;
- camada de acabamento.

Segundo Junginger (2003), a base não faz parte do sistema, mas é fundamental para seu desempenho global. Essas camadas devem se comportar solidariamente. Caso um dos componentes falhe, todo o conjunto pode estar comprometido. Podem haver alvenarias de vários tipos (blocos de concreto, blocos cerâmicos, tijolos maciços, blocos sílico-calcário ou de concreto celular autoclavado), diferentes painéis de vedação (“Dry Wall” ou cimentícios), e também elementos estruturais (vigas, lajes, pilares de concreto armado), cada um destes materiais tem características distintas e por isso devem ser avaliados.

Pode-se afirmar que o revestimento cerâmico aderido tem como função principal proteger e dar acabamento estético às edificações. O que significa que tem a função de proteger de intempéries como a ação da umidade, da chuva, do desgaste mecânico e de agentes atmosféricos, além de proporcionar boa aparência o que aumenta o valor econômico da edificação (VALIATI 2009).

Segundo Valiati (2009), o grande sucesso do revestimento cerâmico aderido deve-se aos fatores de durabilidade, capacidade de não propagação do fogo, pouca tendência a adquirir mofo e a impermeabilidade. Outros fatores como a higiene, estanqueidade a gases, facilidade de limpeza, ampla rede de fabricantes e preço relativamente baixo também representam características atrativas para o uso deste tipo de revestimento.

Ainda sobre as vantagens do revestimento cerâmico, Roscoe (2008) cita:

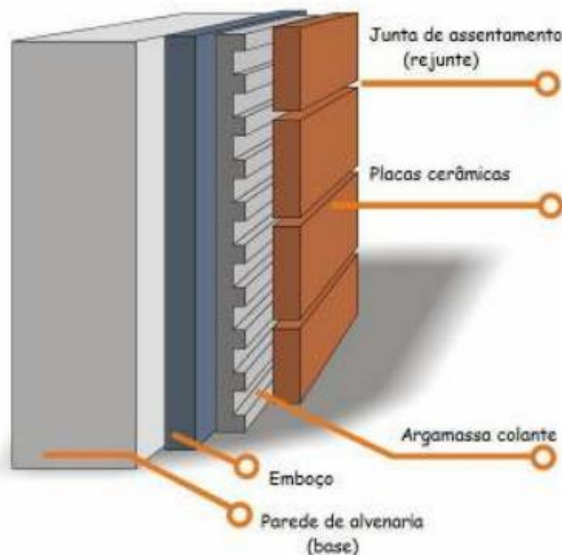
- durabilidade;
- facilidade de limpeza;
- higiene;
- qualidade de acabamento final;

- proteção dos elementos de vedação;
- isolamento térmico e acústico;
- estanqueidade à água e aos gases;
- segurança ao fogo;
- estética agradável.

O desempenho dos sistemas de revestimentos está diretamente relacionado à aderência e ao comportamento diferenciado entre cada camada considerando os esforços de natureza mecânica, química, física, biológica, das ações das intempéries ou no decorrer do tempo (VALIATI, 2009).

Portanto, a durabilidade do conjunto, Figura 1, está associada com o planejamento e a escolha correta do revestimento cerâmico, a qualidade da argamassa colante e a qualidade do material de preenchimento das juntas de assentamento, além do adequado processo executivo.

Figura 1 - Camadas do revestimento cerâmico aderido



(fonte: VALIATI, 2009)

Finalizando este tópico, é importante ressaltar que juntamente com a estrutura, com as vedações verticais e horizontais, demais revestimentos e os sistemas prediais, o revestimento cerâmico aderido de fachada é um dos elementos que protege o

edifício das intempéries e proporciona seu acabamento final. Segundo Campante e Baía (2003), sendo uma parte integrante do edifício, é necessário que o revestimento apresente propriedades específicas e cumpra as suas funções, contribuindo para o adequado desempenho do edifício como um todo, por isso na sequência serão abordados aspectos relativos à durabilidade, vida útil e efeitos da degradação sobre os revestimentos de fachadas.

## 2.2 ARGAMASSA PARA REJUNTAMENTO

As definições deste capítulo compreendem somente as argamassas para rejuntamento industrializadas, compostas por materiais cimentícios, definidas pela NBR 14992 (ABNT, 2003) como “mistura industrializada de cimento Portland e outros componentes homogêneos e uniformes, para aplicação nas juntas de assentamento de placas cerâmicas” e são classificadas pela mesma norma de acordo com seu grau de absorção.

Junginger (2003) salienta que através da análise da execução do revestimento cerâmico pode-se deduzir que a função básica da argamassa para rejuntamento é preencher os espaços vazios entre as placas. Embora o rejuntamento das placas cerâmicas consista no preenchimento das juntas existentes entre duas placas cerâmicas adjacentes, ele tem o intuito de prover suporte, impermeabilização e proteção das arestas das placas cerâmicas. As argamassas para rejuntamento, assim como as placas cerâmicas, devem possuir características próprias para as exigências do revestimento externo (REBELO, 2010).

Os rejuntas devem apresentar as seguintes características e propriedades às quais são imprescindíveis para o bom funcionamento do sistema de vedação (JUNGINGER, 2003):

- estabilidade da cor;
- resistência a manchas e resistência à formação de fungos (para manter a higiene);
- baixa absorção de água e retração por secagem;
- alta adesão;
- bons níveis de deformabilidade (para absorver a dilatação e contração das peças e dos panos cerâmicos);

- capacidade de comportar larguras entre 0,8 a 18 mm;
- possibilidade de uma aplicação lisa e lavável;
- dureza necessária para o uso definitivo;
- resistência aos ácidos (quando especificado).

Ainda sobre funções e propriedades das argamassas para rejuntamento, Carasek (2007) propõe as funções e requisitos segundo o Quadro 2:

Quadro 2 - Função e propriedades das argamassas para rejuntamento

Função	Requisitos / propriedades
-vedar as juntas;	-trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial);
-permitir a substituição das placas cerâmicas;	-baixa retração;
-ajustar os defeitos de alinhamento;	-aderência;
-absorver pequenas movimentações do sistema.	-capacidade de absorver deformações (plasticidade) – principalmente para fachadas.

(fonte: adaptado de CARASEK, 2007)

Segundo Roscoe (2008), as juntas de assentamento são espaços uniformes entre elementos contínuos com mesmas dimensões. A junta nos revestimentos cerâmicos aderidos pressupõe especial atenção, pois absorvem a tensão do sistema vertical de vedação e a dilatação térmica deste sistema. Elas também atuam para compensar a variação dimensional dos elementos cerâmicos, garantem estanqueidade ao sistema e facilitam o alinhamento e eventuais reposições de placas, contudo, se não forem preenchidas da forma correta e com o produto adequado podem provocar falhas de dimensionamento ou perda das capacidades específicas, comprometendo o sistema de revestimento.

### 2.2.1 Tipos de Rejuntas

A norma brasileira NBR 14992 (ABNT, 2003) distingue em dois tipos os rejuntas a base de cimento Portland, o tipo I e o tipo II. A norma não faz diferença entre as argamassas para rejuntamento segundo sua composição, basicamente são diferenciadas pelo seu grau de absorção de água.

O Quadro 3 traz algumas das classificações das argamassas para rejuntamento segundo diversas entidades:

Quadro 3 - Classificação das argamassas para rejuntamento

<b>Autor/Entidade</b>	<b>Designação para o rejunte</b>	<b>Comentários</b>
BS 5385:Part 2 (BSI, 1991, p.10).	<b>Rejunte industrializado</b> ( <i>proprietary grout</i> ).	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó. Podem receber adições poliméricas ( <i>admixtures to grouts</i> ).
AS 3958.2 (AS, 1992, p.18).	<b>Rejunte industrializado</b> ( <i>proprietary portland cement grout</i> ).	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó.
	<b>Rejunte modificado</b> ( <i>modified grout</i> ).	Disponíveis como: rejunte (monocomponente) industrializado ( <i>proprietary product</i> ); rejunte bicomponente ( <i>two-part proprietary product</i> ); aditivos para mistura com rejunte monocomponente.
ITC (1994, p.201).	<b>Rejuntas tipo dry-set.</b>	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó.
	<b>Rejuntas tipo cimento-látex.</b>	Compostos por uma parte seca em pó e um aditivo líquido.
Byrne (1995, p.44)	<b>Nata de cimento</b> ( <i>plain grout</i> ).	Mistura de cimento e aditivos para juntas até 1,6mm.
	( <i>Sanded grout</i> ).	Mistura de cimento, areia e aditivos para juntas maiores que 1,6mm.
Goldberg (1998, p.140).	<b>Rejunte modif. com polímeros</b> ( <i>polymer modified cement grout</i> ).	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó.
	<b>Rejunte com látex</b> ( <i>Látex cement grout</i> ).	Rejunte preparado em obra ou industrializado a ser misturado com um aditivo líquido.
ANSI A108.10 (ANSI, 1999, p.53); ANSI A118.7 (ANSI, 1999, p.87); TCA (2002, p.7).	<b>Rejunte modif. com polímeros</b> ( <i>polymer modified tile grout</i> ).	Misturas de cimento e agregados miúdos modificadas por aditivos em pó ou na forma de emulsão aquosa.
	<b>Rejunte comum</b> ( <i>standard cement grout</i> ).	Mistura de cimento e outros produtos, pode conter areia ( <i>sanded grout</i> ) ou não ( <i>unsanded grout</i> ).
Projeto de norma NBR <sup>14</sup> .	<b>Rejuntas Tipo I e II.</b>	Uso interno e externo respectivamente. Disponíveis como junta fina e junta larga.

(fonte: JUNGINGER, 2003)

Ainda segundo a NBR 14992 (ABNT, 2003), a argamassa de rejuntamento do tipo I pode ser usada para rejuntamento de placas cerâmicas tanto em ambiente interno como em ambiente externo. Seu uso é restrito a ambientes que não possuam tráfego intenso de pessoas. Para placas cerâmicas com absorção de água acima de

3% e, se for aplicado em ambiente externo, onde o piso e a parede ultrapassarem respectivamente, 20m<sup>2</sup> e 18m<sup>2</sup> de área aplicada, deve haver juntas de movimentação conforme NBR 13754 (ABNT, 1996) e a NBR 13755 (ABNT, 1997). De acordo com a NBR 14992 (ABNT, 2003), a argamassa de rejuntamento do tipo II, também é aplicável a ambientes internos e externos, entretanto, pode ser usada em locais de intenso trânsito de pessoas, sua aplicação deve ser feita em placas cerâmicas com absorção de água inferior a 3%, em ambientes externos de qualquer dimensão e com presença de água estancada.

A literatura internacional propõe diferentes classificações de argamassa para rejuntamento, embora todas apresentem o mesmo composto, onde o aglomerante principal é representado pelo cimento Portland.

### **2.2.2 Composição da argamassa para rejuntamento**

Os fabricantes de argamassas para rejunte industrializados indicam no rótulo que sua composição é basicamente cimento Portland, areia silicosa de granulometria controlada, pigmentos e aditivos. Segundo Carasek (2007), os aditivos têm a função de alterar ou ajustar as propriedades dos rejuntas e são utilizados com as seguintes finalidades: melhorar a trabalhabilidade, aumentar a adesão e a aderência, aumentar a capacidade de absorver deformações (resiliência) e promover repelência à água.

Junginger (2003) concluiu que no caso das argamassas industrializadas monocomponentes sua constituição é basicamente cimento, agregado miúdo e aditivos em forma de pó redispersível, enquanto que as argamassas bicomponentes são formadas por uma parte em pó e outra de uma emulsão aquosa, com o intuito de otimizar as propriedades do rejunte.

Há recomendação para que a argamassa para rejuntamento seja bicomponente quando for aplicada em fachadas, em placas de elevada porosidade, piscinas, terraços, pisos com juntas largas e tráfego intenso que requerem propriedades mecânicas melhoradas e boa aparência (ITC, 1987).

Ao realizar uma análise ambiental da produção de argamassas de rejuntamento no estado do Espírito Santo, Rocha-Gomes (2008) identificou que, em média, 95% da massa das misturas correspondem a cimento Portland e carbonato de cálcio.



De acordo com Magalhães (2008), a proporção de aglomerante das argamassas de rejuntamento é de, aproximadamente, 25% a 30%. Já os aditivos retentores de água, hidrofugante e incorporador de ar geralmente possuem a mesma proporção independentemente do tipo e indicação do rejunte, ao contrário dos polímeros que são dosados em função do uso da argamassa.

### **2.2.2.1 Cimento Portland**

O cimento Portland é um produto de uma mistura calcinada entre calcário e argilas chamado de “clínquer”. Este material é moído e misturado com sulfato de cálcio, filer calcário e materiais pozzolânicos (cinza volante, sílica ativa, argila calcinada e escórias), dando origem ao produto mineral (LOPES, 2015).

O cimento é uma substância ativa e pulverulenta. Ele é considerado um aglomerante hidráulico, pois ao contato com a água forma uma pasta capaz de ligar os materiais hidratados dando maleabilidade e resistência à substância ao longo do tempo (CARASEK, 2007).

Segundo Carasek (1996), devido ao fato de o cimento Portland ser um produto industrializado, com alto controle de qualidade, torna a substância menos responsável por manifestações patológicas em argamassas e concretos. Algumas vezes, equívocos na dosagem podem gerar erros e causar problemas, deixando a mistura com consistência inadequada, traço muito rico, ou fazendo com que a mesma desagregue, resultando em um traço pobre.

Ainda segundo Carasek (1996), cimentos muito finos podem levar a maiores retrações plásticas o que compromete o revestimento devido ao aparecimento de fissuras. Nesses casos sugere usar com cuidado cimentos como CPV– ARI, pois a velocidade de hidratação devido à grande área de contato é muito elevada. Outro problema comum são os altos teores de álcalis como ( $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) os quais podem gerar eflorescências aparentes nos revestimentos.

### **2.2.2.2 Agregados minerais**

Agregados são grãos sem tamanho ou formas definidas que compõem as argamassas para rejuntamento, mantendo-se inertes (JUNGINGER, 2003).

Segundo Carasek (1996), os agregados tendem a compor 60 a 80% da argamassa pronta, por isso devem ser escolhidos com cautela. O seu efeito é relevante para o comportamento da argamassa no estado fresco e para o desempenho quando aplicada em revestimentos. Muitas vezes são empregados agregados artificiais por britagem, porém o usual é o aproveitamento de areias naturais retiradas de rios as quais são compostas basicamente de quartzo.

Neste sentido, por ser um produto natural, os agregados podem apresentar em sua composição impurezas que ocasionarão problemas quando aplicados nos revestimentos, ou ainda, estas impurezas podem ser adicionadas à mistura de argamassa em função do seu inadequado armazenamento, ou pela limpeza ineficiente do substrato, entre outros (CARASEK, 2007).

### 2.2.2.3 Pigmentos

Os materiais constituintes da argamassa influenciam na sua cor, principalmente os ligantes e os agregados que, dependendo da região onde são extraídos, possuem características minerais e padrões de cores diferentes (LOPES, 2015). Desta forma com o intuito de diversificar a opção de cores e uniformizar as diferenças entre os agregados surgiram os pigmentos. No Quadro 4 é apresentada a formulação química dos principais pigmentos e respectivas cores.

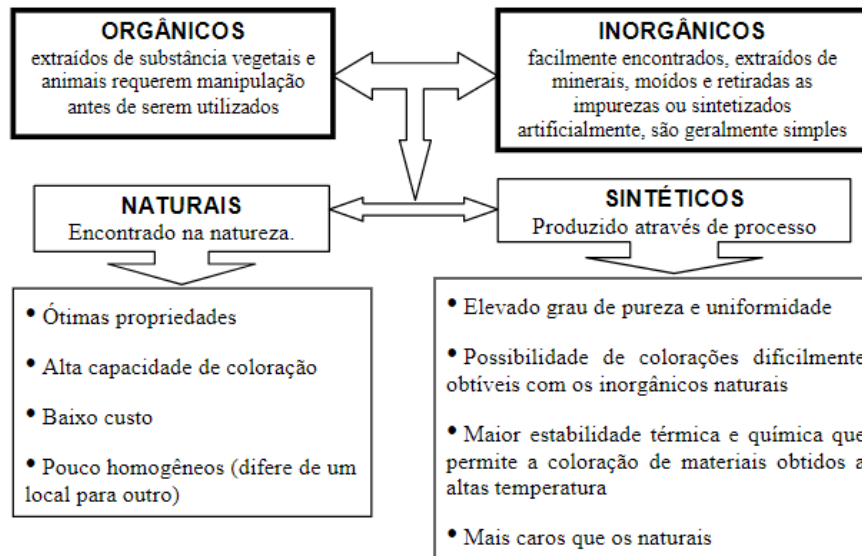
Quadro 4 - Principais pigmentos

Cor	Nome	Fórmula química
Vermelho	Óxido de ferro vermelho	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Amarelo	Óxido de ferro amarelo	$\text{FeOOH}$
	Amarelo resistente à luz	$(\text{Ti, Ni, Sb})\text{O}_2$
	Amarelo resistente à luz	$(\text{Ti, Cr, Sb})\text{O}_2$
Verde	Óxido de cromo verde	$\text{Cr}_2\text{O}_3$
	Verde de cobalto	$(\text{Co, Ni, Zn})_2(\text{Ti, Al})\text{O}_4$
Azul	Azul de cobalto	$\text{Co}(\text{Al, Cr})_2\text{O}_4 / \text{CoAl}_2\text{O}_4$
Marrom	Óxido de ferro marrom	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
Preto	Óxido de ferro preto	$\text{FeOOH} / \text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{Fe}_3\text{O}_4$
Branco	Dióxido de titânico	$\text{TiO}_2$

(fonte: KRESSE, 1992)

Os pigmentos podem ser classificados quanto à sua constituição química (orgânico ou inorgânico), a origem (vegetal ou mineral), forma de produção (natural ou sintético) e quanto ao risco ambiental (tóxico ou não-tóxico), conforme apresentado na Figura 2 (ROCHA-GOMES, 2008).

Figura 2 - Pigmentos para argamassas



(fonte: ROCHA-GOMES, 2008)

A importância de se conhecer as peculiaridades destas classificações está em permitir a definição dos vários fatores e parâmetros condicionais, para uma especificação adequada do pigmento, de acordo com o tipo e local de aplicação da argamassa de rejuntamento (ROCHA -GOMES, 2008).

#### 2.2.2.4 Aditivos químicos

A ASTM C 125 (2016) define o aditivo como qualquer material que não seja água, agregados, cimentos hidráulicos ou fibras e que sejam usados como ingredientes do concreto ou argamassa e adicionado à massa imediatamente antes ou durante a mistura.

Segundo SANTOS (2008), os aditivos melhoram a capacidade das argamassas. Seus agentes químicos alteram suas características de plasticidade, tempo de utilização, impermeabilidade, resistência mecânica, aparência e durabilidade.

Os aditivos são produtos que adicionados ao concreto ou argamassas, têm a função de modificar as propriedades físicas dos mesmos, de modo a facilitar seu manuseio e emprego, oferecendo dessa maneira vantagens que naturalmente não são obtidas confeccionando-se traços tradicionais.

## 2.3 DURABILIDADE

No estudo de caracterização e envelhecimento das argamassas para rejuntamento, a revisão da degradação das fachadas é de extrema importância, mas antes de esmiuçá-lo deve-se entender o conceito de durabilidade e vida útil das edificações.

Segundo John; Sato (2006):

No contexto do ambiente construído, interessa conhecer as transformações que os materiais sofrem e que afetam a sua durabilidade, que é a capacidade de o edifício e suas partes manterem o seu desempenho ao longo do tempo, entendida como a capacidade de um produto de cumprir a função para a qual ele foi projetado.

A durabilidade de um produto pode ser definida como a capacidade do mesmo em manter suas propriedades ao longo do tempo sob condições normais de uso (FLAUZINO; UEMOTO, 1981).

Já segundo Consoli (2006), a durabilidade está associada a vida útil da edificação, enquanto propriedade de qualidade do edifício e pode ser conceituada como a capacidade da edificação ou do sistema em conservar ao longo do tempo, sob condições de instalação, operação e manutenção especificadas, o desempenho compatível com a utilização prevista no projeto, dentro dos limites mínimos aceitáveis.

A durabilidade é definida pela NBR 6118 (ABNT, 2014) como sendo “capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. É dentro desse conceito de durabilidade, que surge a importância de se estudar as falhas dos revestimentos.

Conforme estudo de John (1988), a durabilidade de edifícios pode ser medidas de três formas:

- em função do tempo versus seu desempenho;
- em função da vida útil;
- em função dos ensaios comparativos na amostra.

O estudo da durabilidade é um ponto crítico e muito importante nas obras de engenharia civil, não só pelas obrigações legais, mas também como fonte para encontrar novas soluções de materiais, componentes e sistemas construtivos, selecionar componentes adequados e avaliar os custos de manutenção de cada período de vida da edificação (JOHN, 1988).

Em seu estudo Silva *et al.* (2014) identificam que a durabilidade dos sistemas que compõe o edifício habitacional está ligada a agressividade do meio ambiente, as propriedades inerentes aos elementos e seus componentes e a interação entre ambos ao longo do tempo. Da mesma forma ressalta a importância dos ensaios que buscam simular as intempéries para verificar a durabilidade dos componentes ao longo do tempo, métodos que devem ser enfatizados para estudos e pesquisas.

Consoli (2006) complementa que a durabilidade de edifícios pode ser expressa, tanto em tempo de vida (anos), quanto em função da capacidade de resistência a agentes que normalmente afetam o desempenho de uso. Este requisito de desempenho tem relação direta com o conceito de Vida útil.

## 2.4 VIDA ÚTIL

Outro conceito já citado e de grande relevância para o estudo do envelhecimento é o de vida útil (VU) presente na NBR 15575 (ABNT, 2013), que pode ser descrito como período de tempo durante o qual o sistema pode ser utilizado para as atividades que foi projetado, sob condições satisfatórias de segurança, saúde e higiene. Diferente da vida útil de projeto (VUP) que é o período estimado de tempo, em que um sistema é projetado para atender os requisitos de desempenho, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção. (ABNT NBR 15575-1:2013).

Outra definição vem da norma ISO 15686-2:2005 que define o planejamento de vida útil como um processo de projeto que procura garantir, na medida do possível,

que a vida útil de um edifício seja igual ou superior à vida de projeto, levando em conta, e preferencialmente otimizando os custos globais do ciclo de vida do edifício.

Cabe destacar que antes de 2013 a preocupação com vida útil, desempenho e segurança de edifícios, no Brasil, estava normatizada somente para as estruturas de concreto (ABNT NBR 6118:2014). A partir da introdução da NBR 15575-1 (ABNT, 2013) houve uma nova visão no que tange aos aspectos relacionados ao edifício, pois normatizou conceitos de vida útil, durabilidade e desempenho para o edifício e suas partes, os quais no Brasil eram mais acadêmicos. Desta forma, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) amplia o caráter normativo não somente para um elemento, mas sim para o edifício como um todo, estabelecendo níveis de desempenho mínimo ao longo da vida útil dos elementos principais (estrutura, vedações, instalações elétricas, instalações hidrossanitárias, pisos, fachada e cobertura) para os edifícios habitacionais. Dando perspectivas para pesquisas que envolvam o estudo do comportamento da degradação das fachadas e estimativa de vida útil.

Segundo Lopes (2015), é indispensável o estudo de tecnologias em ambientes controlados para que seu uso possa ser utilizado como referência da vida útil dos materiais. Uma vez que o tempo para realizar os ensaios é muito menor e torna viável as experiências e acompanhamento dos processos e resultados obtidos.

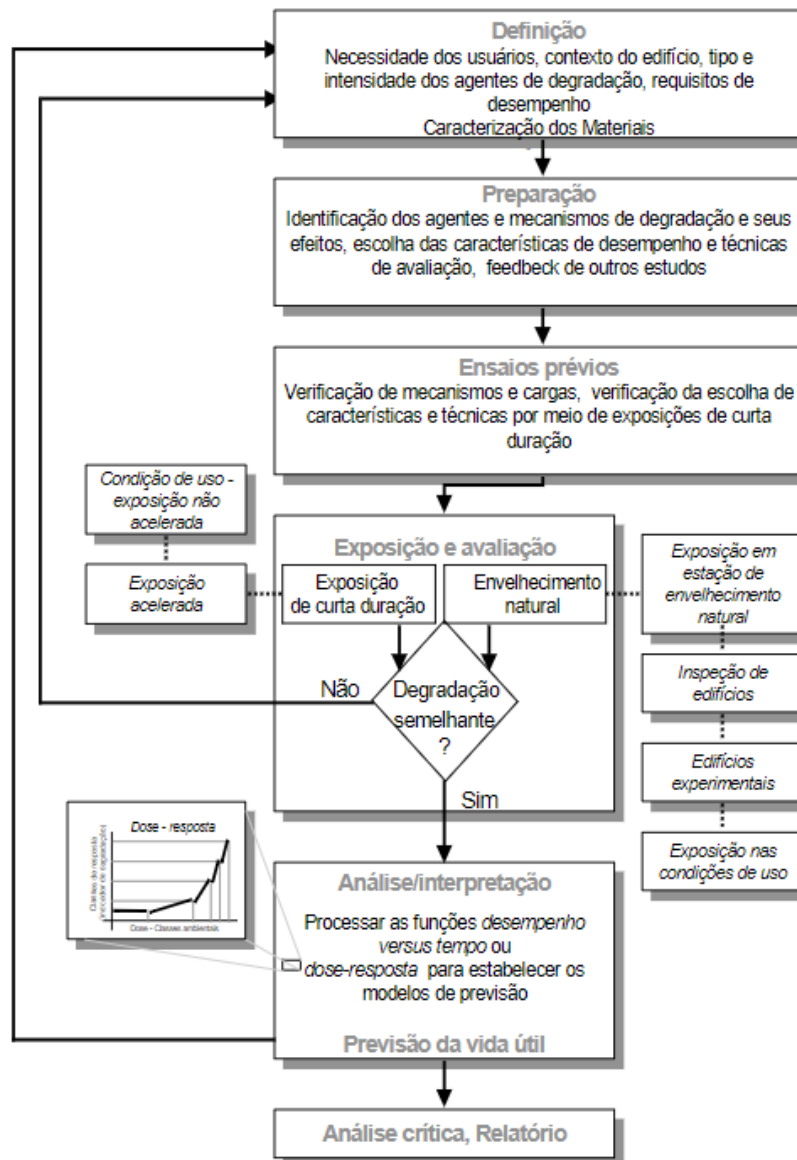
Longhi (2012) destaca que a introdução da NBR 15575 (ABNT, 2013), disposta em suas partes de 1 a 6, que engloba desde os requisitos gerais de desempenho até o desempenho específico de elementos e componentes do edifício, trouxe um caráter normativo de exigências legais e também novas perspectivas para o avanço em pesquisas que visam elucidar e diminuir manifestações patológicas dos edifícios para garantir a durabilidade e vida útil exigida.

Silva *et al.* (2014), em seu estudo estatístico para determinar o período de vida útil de sacadas, mostraram que a mesma fica subordinada à influência do comportamento das propriedades dos elementos e dos seus componentes, além da interação entre estes ao longo do tempo. Ainda segundo os mesmos autores, fachadas que apresentam manifestações patológicas, principalmente em idades precoces, devem ser avaliadas no sentido de verificar quais fenômenos de

degradação conduziram à perda de sua funcionalidade e, por conseguinte, provocaram um envelhecimento prematuro em função da vida útil prevista.

A previsão de vida útil de acordo com a metodologia estudada por John e Sato (2006) se baseia em um processo iterativo com tomadas de decisões durante as etapas intermediárias, permitindo melhorar as previsões em função do conhecimento disponível. Na sequência, John e Sato (2006) descrevem, no Quadro 5, a metodologia mencionada de previsão de vida útil dos componentes dos edifícios.

Quadro 5 - Metodologia para previsão da vida útil



(fonte: JOHN; SATO, 2006)

Conforme Tabela 1, pode-se observar que o tempo de vida útil para as vedações verticais externas de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) é de no mínimo 40 anos, considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a NBR 5674 (ABNT, 2012) e especificados no respectivo “Manual de Uso, Operação e Manutenção” entregue ao usuário elaborado em atendimento à norma NBR 14037 (ABNT, 2011).

Tabela 1 - Vida útil de projeto mínima e superior (VUP)

Sistema	VUP anos	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

(fonte: ABNT NBR 15575-1:2013)

Como visto acima o conceito de vida útil e envelhecimento é muito importante para o planejamento das edificações, principalmente, após a implementação da NBR 15575 (ABNT, 2013). Nesse sentido é relevante o estudo da vida útil e qualidade dos rejuntas empregados em fachadas para o conhecimento e correta escolha do produto. Nos subitens a seguir serão abordados alguns aspectos relevantes que tem relação com a degradação dos revestimentos externos de fachadas

## 2.5 DEGRADAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Segundo Valiati (2009), as vedações externas ou fachadas constituem a envoltória vertical de proteção das edificações atuando como a primeira barreira para os diferentes tipos de solicitações causadas por esforços externos e internos, por isso são necessários o estudo e o entendimento de sua degradação. Só assim é possível prevenir e combater as manifestações que ocorrem durante a vida útil dos revestimentos.



No que se refere às fachadas, Consoli (2006) ressalta que, em virtude da ocorrência de manifestações patológicas, a maioria dos revestimentos não proporciona um desempenho que garanta uma vida funcional longa para a edificação.

No Brasil tem se observado um aumento cada vez maior na degradação dos revestimentos, devido ao conjunto de agentes agressivos que atuam nos edifícios. Esses agentes interagem com a construção produzindo uma gama de fenômenos físicos, químicos e biológicos e gerando problemas relacionados com um desempenho insatisfatório e manifestações patológicas. O levantamento das manifestações patológicas em edificações e em seus componentes sempre foi objeto de estudos de pesquisadores, pois, conhecendo-as, é possível obter informações sobre suas causas, origens, medidas de recuperação e prevenção (LICHTENSTEIN, 1985).

Ainda, segundo Lichtestein (1985), é importante identificar a degradação o quanto antes, principalmente as interações com os agentes agressivos no período pré-patogênico, período quando a manifestação ainda é imperceptível, pois nesta fase a possibilidade de resolução do problema é muito grande, ao contrário do período patogênico, que segundo o mesmo autor é caracterizado pelo início da percepção do problema, quando as falhas já estão dissipadas pelo revestimento.

Segundo Silva (2014), a grande degradação dos sistemas construtivos se dá pela incidência de manifestações patológicas, especificadamente em revestimentos de fachadas, apesar dos avanços tecnológicos na construção civil, causando desconforto físico e estético aos usuários.

A degradação é resultado da interação da edificação com os agentes que provocam alteração nos materiais, como a chuva, o vento e o sol que sempre estiveram presentes e são inerentes ao meio ambiente onde se encontram as edificações. É importante aprender e analisar os seus impactos para poder adaptar as tecnologias disponíveis. Assim podemos atenuar sua influência que se faz de maneira continuada e combinada (LONGHI, 2012).

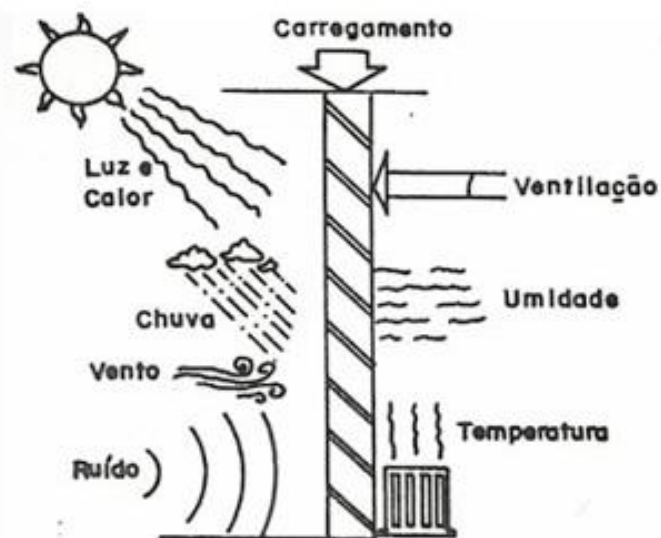
A degradação em revestimentos nem sempre é causada por ação de falhas executivas ou do produto/material utilizado. Paes e Carasek (2002) alertam para a necessidade do entendimento das causas e mecanismos dos eventuais fenômenos

patológicos atuantes em virtude, principalmente, das diferentes características dos materiais utilizados e das condições de exposição. Isto requer suficiente conhecimento científico e tecnológico do conjunto, fazendo-se necessários estudos e pesquisas em torno desses fenômenos.

Os revestimentos monolíticos apresentam manifestações patológicas de maneira anômala e devem ser avaliados no sentido de verificar quais fenômenos de degradação conduziram à perda de sua funcionalidade e, por conseguinte, provocaram um envelhecimento prematuro em função da vida útil prevista (SILVESTRE; BRITO, 2011).

Muitas vezes os principais fatores de degradação, em relação às fachadas, são oriundos de fatores naturais, a Figura 3 identifica esses fatores:

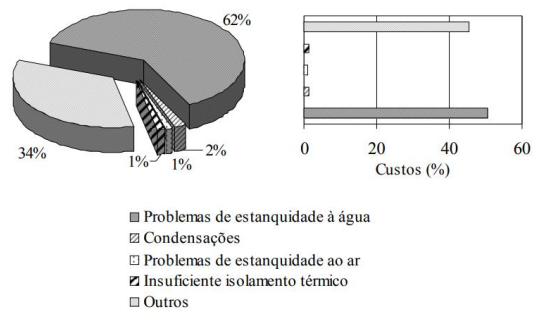
Figura 3 - Fatores causadores da degradação nas fachadas



(fonte: LONGHI, 2012)

As manifestações patológicas mais frequentes encontradas no trabalho de Alves (2008) estão definidas na Figura 4. Dentre estas, pode observar que 62% dos casos estão relacionados à problemas de estanqueidade à água na envoltória dos edifícios e representam mais de 40 % do total de custos para reparação das falhas existentes nas obras estudadas.

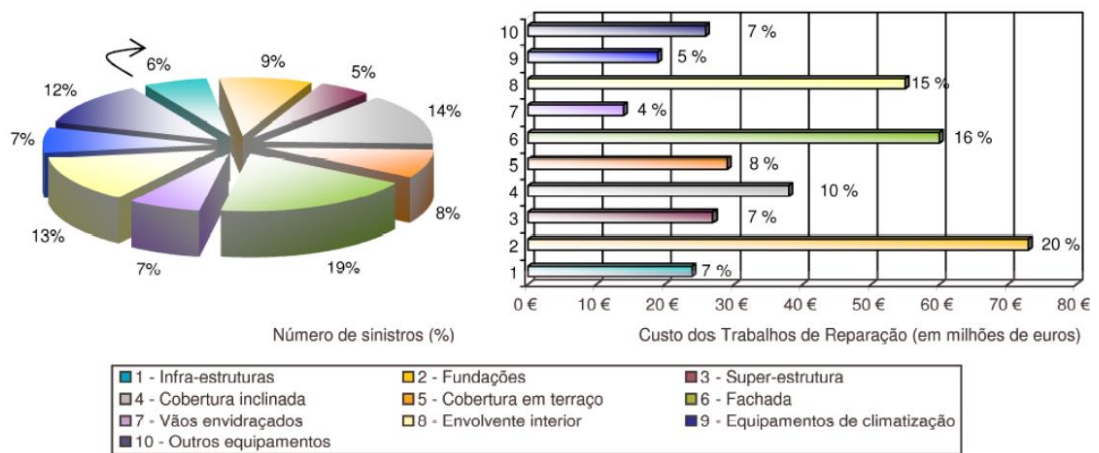
Figura 4 - As manifestações patológicas mais frequentes encontradas no trabalho de Alves (2008)



(fonte: Alves, 2008)

Alves (2008) também constatou que as fachadas apresentaram a maior frequência de problemas patológicos quando comparado com outros sistemas do edifício, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Localização das manifestações patológicas



(fonte: Alves, 2008)

Como visto acima, existe uma grande importância no estudo da degradação dos revestimentos, principalmente considerando às juntas de assentamento e as possíveis falhas associadas com as argamassas usadas no preenchimento nessas juntas. Nos tópicos a seguir serão cada um dos principais fatores naturais de degradação.

### 2.5.1 Efeitos do Clima Sobre as Fachadas

Segundo John (1988), os agentes presentes na atmosfera, conhecidos como agentes ambientais, clima e a poluição, são determinantes para a degradação do revestimento de obras de engenharia, principalmente das edificações.

Ainda conforme John (1988), climas quentes e úmidos costumam acelerar a degradação dos elementos nas estruturas, pois aumentam a energia cinética das moléculas. Climas quentes e secos geram grandes amplitudes térmicas fazendo com que o revestimento externo tenha que suportar grandes variações dimensionais.

A água também exerce papel fundamental no desgaste, pois complementa o trabalho realizado pelos outros agentes. Ela entra pelas frestas abertas nos materiais e carrega consigo sais e outros minerais que remove do substrato, enfraquecendo o revestimento e a estrutura. A radiação solar também desgasta os materiais tornando-os quebradiços. Os raios ultravioletas também desbotam as superfícies e aceleram o comprometimento das vedações contra entrada de água e outros agentes agressivos (LOPES, 2015).

Como visto, grande parte dos fatores que causam manifestações patológicas em fachadas são provenientes do clima na qual se encontra a edificação dentre os principais fatores naturais estão:

- chuvas;
- vento;
- umidade;
- radiação solar;
- temperatura.

#### 2.5.1.1 Radiação Solar

Um dos principais agentes do intemperismo nas fachadas é a radiação solar, não só pela radiação ultravioleta em si (UVA e UVB), mas pela combinação com o calor, umidade, vento e fatores biológicos. Seu estudo é de extrema importância, pois sua incidência é diária, cíclica e provocando a foto-oxidação (VIEIRA, 2006).

Segundo Chew (2010), do mesmo modo que a radiação solar danifica materiais orgânicos, polímeros e selantes a prova d'água, ela é fator importante no desenvolvimento de manchas em fachadas. As manchas resultam do crescimento de bactérias, fungos e algas, principalmente pela exposição a um processo de umedecimento e secagem.

Brennan e Fedor (1988) enfatizam que o sol é mais baixo durante os meses de inverno, pois é filtrado por uma quantidade muito maior de ar do que no verão, fazendo com que a intensidade da luz solar e o comprimento de ondas variem sazonalmente. Tornando claro que o verão é muito mais prejudicial para os materiais fotodegradáveis.

A radiação UV do sol está diretamente ligada a degradação dos revestimentos externos e das tintas. A influência da radiação UVA e UVB aumenta ainda mais a temperatura da superfície que somada com a temperatura do ar provoca maior desgastes dos materiais. A variação de temperatura obriga que componentes trabalhem de maneira harmônica, embora sofram dilatações diferentes. Neste caso, as dilatações terão que ser absorvidas por algum elemento, necessitando de um maior número de juntas (LOPES, 2015).

De acordo com o Comissão Internacional em iluminação (CIE) as ondas ultravioletas são divididas de acordo com o Quadro 6, somente os comprimentos de ondas maiores que 280nm são relevantes para o estudo da degradação.

Quadro 6 - Comprimentos de onda UV

<b>UVA</b> 400 a 315 nm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Causa danos em polímeros.</li> </ul>
<b>UVB</b> 315 a 280 nm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incluem os comprimentos de onda mais curtos que chegam na superfície da terra;</li> <li>• responsáveis por danos severos a polímeros.</li> </ul>
<b>UVC</b> 100 a 280 nm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• filtrado na atmosfera terrestre;</li> <li>• irrelevante para à degradação de fachadas.</li> </ul>

(fonte: adaptado de BRENNAN e FEDOR, 1988)

### **2.5.1.2 Temperatura**

Consoli (2006) afirma que dos fatores provenientes da atmosfera, a variação da temperatura é um dos agentes mais agressivos aos revestimentos de edifícios, provocando variações físicas e químicas nos materiais, gerando fissuras, descolamentos e rupturas, principalmente nos revestimentos porosos, por absorverem água, umidade e radiação solar, ocasionando grandes tensões nas interfaces dos componentes.

As movimentações térmicas dos materiais estão relacionadas com as propriedades físicas dos mesmos e com a intensidade da variação de temperatura. A magnitude das tensões é função da movimentação, do grau de restrição imposto pelos vínculos a esta movimentação e das propriedades elásticas do material. Os movimentos de dilatação e contração provocados pela variação térmica são restringidos por aqueles mesmos vínculos que envolvem os elementos, o que acarreta no aparecimento de fissuras (THOMAZ, 1989).

Goldberg (1998) destaca que todos os materiais expandem e se contraem quando expostos a variação de temperatura, com isso destaca a importância das diferentes taxas de expansão entre os materiais usados em vedações, principalmente com relação ao choque térmico e movimentação térmica. O choque térmico refere-se a taxa e amplitude da variação de temperatura em períodos curtos de tempo, ou seja, ocorre em virtude de variações bruscas de temperaturas em função de eventual chuva de verão ou ventos sobre fachadas que estejam com carga térmica elevada.

As fachadas com orientação norte e noroeste (com maior orientação solar) são as mais afetadas pelo descolamento das placas cerâmicas, o que comprova que o efeito da radiação solar contribui para o aumento das manifestações patológicas (LUZ, 2004).

Segundo Thomaz (1989), o sistema de vedação vertical externo da edificação está sujeito à variação sazonal da temperatura resultando em uma variação dimensional dos materiais usados em sua construção a movimentação, a movimentação térmica também está voltada as propriedades físicas do material, já que a origem da fissura pode ocorrer devido a movimentações diferenciadas entre

componentes de um elemento, entre componentes de um sistema e entre regiões distintas de um mesmo material.

Como visto neste item, devido as variações térmicas, aliadas à umidade, ocorrem esforços higrotérmicos que atuam diretamente sobre os acabamentos, provocando uma dilatação das unidades construtivas em função dos seus coeficientes de dilatação potencial, o que aliado a procedimentos executivos deficientes podem levar ao surgimento manifestações patológicas, como fissuras, relevantes nas juntas de assentamento.

### **2.5.1.3 Umidade**

Para PEREZ (1988) a umidade nas construções representa um dos principais problemas e o mais difícil de ser corrigido dentro do ambiente da construção civil.

Da mesma maneira como é indispensável para o aparecimento de bolor, mofo, eflorescências, ferrugem, a umidade consiste em um meio para o aparecimento de diversas falhas nas construções (CARASEK, 2007). Segundo essa linha de pensamento Verçoza (1991) relata que a umidade não é apenas uma causa de falhas, ela age também como um meio necessário para que grande parte das manifestações patológicas apareça nas edificações.

Bauer (1987) relata a aleatoriedade das diversas formas de penetração da água bem como da grande gama de fenômenos envolvidos, mas ressalta que a umidade tem como origem a chuva. A penetração da água da chuva está relacionada com diversos mecanismos físicos que determinam a incidência da chuva sobre as paredes, fenômenos que regem o comportamento dos materiais porosos quando solicitados pela chuva e com aspectos construtivos pertinentes à concepção e construção das paredes (detalhes de projeto, defeitos, componentes, tratamento superficial e juntas).

Longhi (2012) ressalta o problema da umidade relativa do ar que se condensa ao entrar em contato com a superfície e se infiltra nos revestimentos provocando diversas manifestações patológicas. Algumas das origens e localizações da umidade estão presentes no Quadro 7.

Quadro 7 - Origem e presença da umidade nos revestimentos

<b>Origens</b>	<b>Localização</b>
Umidade proveniente da execução da construção	Confecção do concreto, Confecção de argamassas, Execução de pinturas.
Umidade oriunda das chuvas	Cobertura (telhados); Paredes; Lajes de Terraços.
Umidade trazida por capilaridade (umidade ascensional)	Terra, através de lençol freático
Umidade resultante de vazamentos de redes de água e esgoto	Paredes; Telhados; Pisos; Terraços.
Umidade de condensação	Paredes, forros e pisos; Peças com pouca ventilação; Banheiros, cozinha e garagens.

(fonte: KLEIN, 1999)

Longhi (2012) destaca que a chuva é um fenômeno variável em relação à intensidade, duração e frequência. Para revestimentos e detalhes construtivos, sua presença está relacionada às manifestações patológicas, as quais podem ser de ordem direta, como é o caso dos manchamentos e erosão química, e de forma indireta, como o enfraquecimento do revestimento devido a presença de água em seus poros ou vazios.

Bauer (1987) sugere que o grau de importância atribuído ao estudo da penetração da chuva varia de região para região. O mesmo ainda destaca que em regiões de altos índices de precipitação e umidade relativa do ar, certamente as



solicitações impostas à parede, no que se refere à estanqueidade, são bem mais significativas, necessitando de maiores cuidados na concepção das fachadas.

Ainda segundo Bauer (1987), como a resistência à penetração depende do preenchimento total das juntas, tanto verticais quanto horizontais, e da extensão de aderência entre bloco e argamassa, é necessário que seja levado em consideração a chuva dirigida na penetração de água por meio de pequenas fissuras presentes na interface entre o bloco e a argamassa.

Portanto a concepção dos sistemas de vedação com respeito à resistência à penetração da chuva comporta a análise das características dos materiais, quer seja em relação a compatibilidade mútua entre eles, quer seja em relação às características desejáveis em relação a garantir perfeita resistência à ação da chuva na alvenaria. Também deve ser considerado o comportamento e a função específica de cada material, bem como a elaboração de dispositivos que auxiliem ou garantam a estanqueidade global do sistema de vedação (BAUER, 1987).

#### **2.5.1.4 Ventos**

Cabe destacar também os ventos, pois sua ação de transporte de partículas age diretamente sobre as superfícies de fachadas. O vento atua em diversas direções e muitas vezes, quando encontra bordas, forma vórtices que podem destacar partes do revestimento. Os ventos também carregam água da chuva para a superfície dos mesmos, o que agrava o problema (LONGHI, 2012).

Chew (2010) ressalta a importância dos ventos com a chuva pois este não só faz com que a fachada se molhe, mas também altera o curso da água nela. Isso se reflete no efeito de lavagem em edifícios altos, que podem causar uma elevação na corrente de água descendente. O fenômeno causa desgaste nos elementos, pois além de provocar abrasão, carrega os sais presentes nas argamassas e leva umidade para dentro das trincas e fissuras.

Segundo Bauer (1987), é de extrema relevância o estudo da dinâmica de fluxos de ar sobre as paredes externas das edificações. Ainda segundo Bauer (1987), os ventos a grandes alturas são controlados, em larga escala, por fatores climáticos, mas a alturas menores, devido ao atrito e a rugosidade da superfície, tem o fluxo de ar

alterado e formam um gradiente de velocidades. Esse gradiente diminui com a altura até chegar a um valor nulo junto ao solo.

O vento agindo sobre uma determinada superfície gera regiões de sucção e sobrepressão, dependendo do resultado da complexa interação entre sua velocidade e turbulência e as formas e tamanhos das edificações. Outros fatores importantes são os efeitos de cantos (esquinas), e o efeito Venturi, os quais, causam alteração na velocidade e direção do vento e podem aumentar a intensidade da chuva dirigida nos revestimentos externos, fachadas (BAUER, 1987).

A partir do próximo item inicia-se a revisão bibliografia referente às características relevantes, para este trabalho, das argamassas para rejuntamento (composição, juntas e manifestações patológicas).

## 2.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ARGAMASSA PARA REJUNTAMENTO

A durabilidade das argamassas de rejuntamento depende das propriedades do produto, sua composição (aditivos, ligante, adições e corantes), seu traço e das interações com o ambiente no qual se encontra, da compatibilização entre o tipo de revestimento cerâmico e o tipo de rejunte e da correta adoção dos tamanhos de juntas (LONGHI, 2012).

Segundo Longhi (2012), das propriedades existentes nas argamassas a capacidade de absorver deformações, bem como a capacidade mecânica e a capacidade de infiltração de água são os aspectos importantes para durabilidade da argamassa para rejuntamento.

A deterioração das argamassas de rejuntamento é um problema para todo o conjunto do revestimento. O conjunto base, cerâmica e argamassa precisam funcionar juntos para absorver as movimentações e deformações. Os principais sinais de deterioração das juntas são a perda da estanqueidade e o envelhecimento do material de preenchimento (FONTENELLE; MOURA, 2004).

Segundo Franco (2008):

Ao contrário do que se pensa, a deterioração do rejuntamento não só compromete os aspectos referentes à estética do conjunto, como também compromete a perda de estanqueidade da camada de acabamento dos revestimentos cerâmicos e a deformação do conjunto, em função das solicitações de uso da edificação.

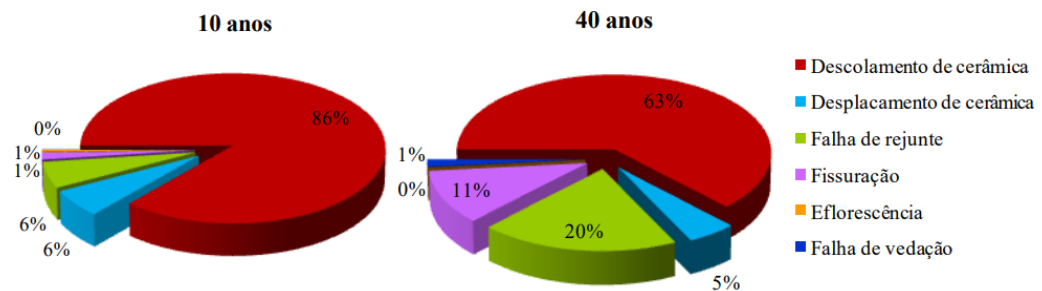
Há uma necessidade de esclarecimentos de dúvidas acerca da evolução das manifestações patológicas e sua influência no desempenho e vida útil das fachadas. O conhecimento das incidências das manifestações patológicas contribui para a melhoria contínua dos processos construtivos, na medida em que as informações sobre as mesmas são tratadas e divulgadas. Por isso é muito importante o desenvolvimento de estudos que visem subsidiar a durabilidade e a vida útil das fachadas com revestimento em elementos cerâmicos (ROSCOE, 2008).

Muitas vezes, pela ação das intempéries (sol, chuva, entre outros...) o rejunte fatura e desprende-se da fachada. Outras, vezes, em regiões de encontro principalmente com as esquadrias, o mesmo é deteriorado por impactos, manutenção de janelas ou ainda pela corrosão metálica das esquadrias. Deste modo surgem falhas que se caracterizam por aberturas por onde a água penetra, gerando principalmente manifestações patológicas de infiltração na edificação (JUNGINGER, 2003).

Os estudos de Toledo (2007) abordam as falhas do revestimento cerâmico e concluem que as manifestações patológicas apresentadas são localizadas principalmente na interface entre a argamassa de assentamento e a peça cerâmica.

Bauer *et al.* (2010) identifica em uma pesquisa realizada para determinação das manifestações patológicas em quatro edifícios na cidade de Brasília-DF, uma diferença no percentual de danos entre edifícios com 10 anos e 40 anos. A Figura 6 mostra que nos edifícios de 40 anos, 20% das manifestações patológicas manifestadas ocorreram devido a falha de rejunte.

Figura 6 - Distribuição percentual de manifestações patológicas em edifícios com 10 anos e 40 anos



(fonte: adaptado de Bauer *et al.*, 2010)

Como visto, as falhas que ocorrem entre as placas cerâmicas facilitam a passagem de água, podendo comprometer o desempenho do rejunte, que deixa de cumprir suas funções (aliviar tensões e garantir estanqueidade do revestimento). Para prevenir a ocorrência de falhas nas juntas faz-se necessário atender às características geométricas previstas em projeto, exercer controle durante a execução das juntas, escolher corretamente os materiais de preenchimento, além de cumprir às orientações e exigências das normas vigentes. A seguir serão abordadas algumas manifestações patológicas normalmente verificadas nas argamassas para rejuntamento, tais como: alteração de cor, eflorescências e fissuras.

### 2.6.1 Alteração de Cor

Como mencionado anteriormente, a alteração de cor nas fachadas compromete a aparência da edificação. Segundo Malanho (2011), devido à grande exposição solar, a alteração de cor dos componentes dos revestimentos de fachadas (placas e argamassas de rejuntamento) tende a ser expressiva. Principalmente por causa dos raios UVA e UVB que causam alterações na coloração do revestimento aderido e no material cimentício usado nas juntas de assentamento (LOPES, 2015).

Segundo Lopes (2015):

A alteração da cor de uma argamassa, além do prejuízo estético, alerta para o envelhecimento do material (desbotamento) ou para a ocorrência de impregnação por presença de umidade juntamente à presença de microrganismos ou de contaminantes atmosféricos.

Bauer *et al.* (2007) deixam claro que a alteração de cor nas argamassas de rejuntamento é causada pelo pigmento presente. O pigmento pode ser retirado pela água da chuva, limpeza realizada, bem como pode ter reagido com as radiações ultravioletas do sol.

Para Luz (2004), a falta de elementos de acabamento superior na platibanda e nos peitoris das janelas, como pingadeiras, contribui para o surgimento de manchas, principalmente nas argamassas de rejuntamento. O mesmo autor concluiu ainda que, apesar da falta de manutenção e limpeza das fachadas, o avanço do acabamento superior da platibanda e peitoris das janelas provavelmente contribuiu para amenizar o surgimento de manchas nas superfícies das placas cerâmicas e nas argamassas de rejuntamento.

## 2.6.2 Eflorescências em Juntas

Quando se trata de revestimentos aderidos, principalmente com uso de placas cerâmicas, as eflorescências tendem a aparecer nas juntas de assentamento, pois o material cimentício é mais poroso, propenso a absorção de água e formação de microrganismos (MALANHO, 2011).

Segundo Franco (2008):

Eflorescência é o fenômeno causado pela movimentação da água nos vazios e canais localizados no interior da argamassa. A água sobe nestes vazios por capilaridade e/ou pressão, transportando sais solúveis presentes no substrato, fluxo este ligado diretamente às propriedades de absorção e permeabilidade das argamassas. O fenômeno é entendido como a formação do depósito cristalino (sal) na superfície da placa, devido a ação do meio ambiente ou a ação físico-química. Tal patologia afeta não somente a estética da fachada, como também a aderência dos revestimentos; ela é o efeito de problemas mais graves na edificação, como a presença de umidade.

Em argamassas de rejuntamento essas manifestações em formas de erupções salinas se formam pela porosidade do substrato, Figura 7. A passagem da água pelo seu interior carrega os sais solúveis que ao entrar em contato com o ar agrupam-se formando depósitos. Esses depósitos, geralmente de cor esbranquiçada, afetam a estética do revestimento. Com o tempo há uma tendência da diminuição do aparecimento desta patologia, pois o sal vai se tornando escasso (FONTENELLE; MOURA, 2004).

Figura 7 - Eflorescência em argamassas para rejuntamento



(fonte: FRANCO, 2008)

### 2.6.3 Fissuras em Juntas

Outra manifestação patológica importante encontrada nas juntas de assentamento são as trincas ou fissuras. A deterioração das juntas de assentamento pode ocorrer entre outras razões devido a impactos nas regiões de encontro especialmente com as esquadrias; pela ação das intempéries (insolação, ação da água); fadiga do rejunte por ciclos higrotérmicos; envelhecimento, manifestado nas resinas de origem orgânica pela alteração da cor; especificação e/ou uso e aplicação errônea do rejunte que podem implicar em elevada porosidade superficial e baixa resistência mecânica e infiltração de produtos potencialmente agressivos e água. Todos estes fatores podem implicar em fissuração e posterior queda do rejunte da fachada (SARAIVA, 1998).

Em geral, as fissuras são caracterizadas como manifestações patológicas decorrentes dos mecanismos de alívio de tensões pelas alterações dimensionais, deslocamentos e variações de volume ao longo do período em serviço, podendo ser decorrentes de processos físicos-mecânicos ou químicos (CARASEK, 2007).

Segundo IOSHIMOTO (1988), “as causas possíveis envolvem algum tipo de movimentação, seja do edifício em geral, entre elementos e/ou componentes construtivos que geram nas materiais tensões, geralmente de tração e, em alguns casos, de cisalhamento. A fissuração também pode ocorrer devido a diferentes coeficientes de dilatação entre placas cerâmicas e as argamassas usadas para

preencher as juntas. As placas, principalmente mais escuras, tendem a se dilatar mais que as juntas, que acabam fissurando (MALANHO, 2011).

Fissuras, quando ocorrem nas juntas entre as placas cerâmicas, localizam-se principalmente entre o rejunte e a lateral das placas. Além de provocar desconforto psicológico para o usuário, as fissuras e trincas podem provocar a perda de estanqueidade da parede e conseqüente degradação com o passar do tempo. Essa perda de estanqueidade pode facilitar a infiltração de agentes agressivos que podem se tornar patológicos comprometendo o desempenho esperado do sistema e provocando sua deterioração (FRANCO, 2008).

Segundo Franco (2008), as principais causas das fissuras em argamassas para rejuntamento são: acomodação da fundação; movimentação higrotérmica, deformação excessiva, retração do cimento, reações químicas, vibrações, entre outros, conforme pode-se observar na Figura 8.

Figura 8 - Fissuras em argamassas para rejuntamento



(fonte: JUNGINGER, 2003)

Aqui se encerra o capítulo referente à revisão bibliográfica dos materiais e suas manifestações patológicas. A partir do próximo capítulo serão revisadas as metodologias que foram utilizadas para os ensaios deste trabalho.

### **3 PROGRAMA EXPERIMENTAL – METODOLOGIA**

Para que os sistemas de revestimentos apresentem desempenho aceitável quando submetidos à ação direta das intempéries vistas no capítulo anterior, tais como, variação de temperatura, chuva dirigida, dentre outras, em conjunto com as diferentes propriedades físicas e mecânicas dos materiais componentes, faz-se necessário estudos comparativos do comportamento em uso destes materiais frente às diversas variantes que condicionam as manifestações patológicas em fachadas de edificações.

Os testes realizados neste trabalho foram executados no LAMTAC / NORIE - UFRGS e se baseiam em normas específicas de argamassas para rejuntamento à base cimentícia. Desta forma, juntamente com a metodologia, foram citadas as referências pertinentes a cada um dos procedimentos de ensaio. Num primeiro momento, foram realizados testes de caracterização no estado endurecido, que servirão para balizar as características físicas das argamassas para rejuntamento. Em seguida, serão explicados os ensaios de envelhecimento realizados para avaliação do intemperismo nas mesmas argamassas para rejuntamento, e as variáveis de resposta que permitiram comparativo entre os resultados das amostras das diferentes marcas frente à degradação.

Desta forma, foram avaliadas e comparadas argamassas de três fabricantes distintos (A, B e C), amplamente comercializadas no mercado. Para cada marca, serão realizados os ensaios conforme especificados na Figura 9 e na Figura 10. Para a avaliação das propriedades físicas, as idades de ensaio e o número de amostras foram quantificados através de orientação normatizada pela NBR 14992 (ABNT, 2003), com exceção do ensaio de módulo, cuja idade e quantidade de cp's está normatizado na NBR 8522 (ABNT, 2008).



Figura 9 – Diagrama dos ensaios de caracterização

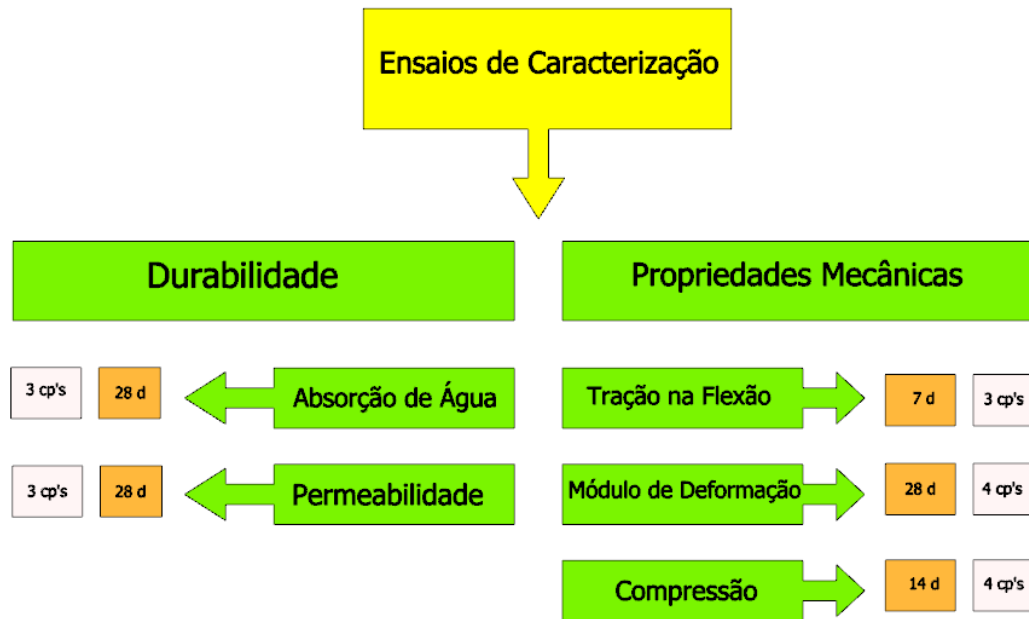
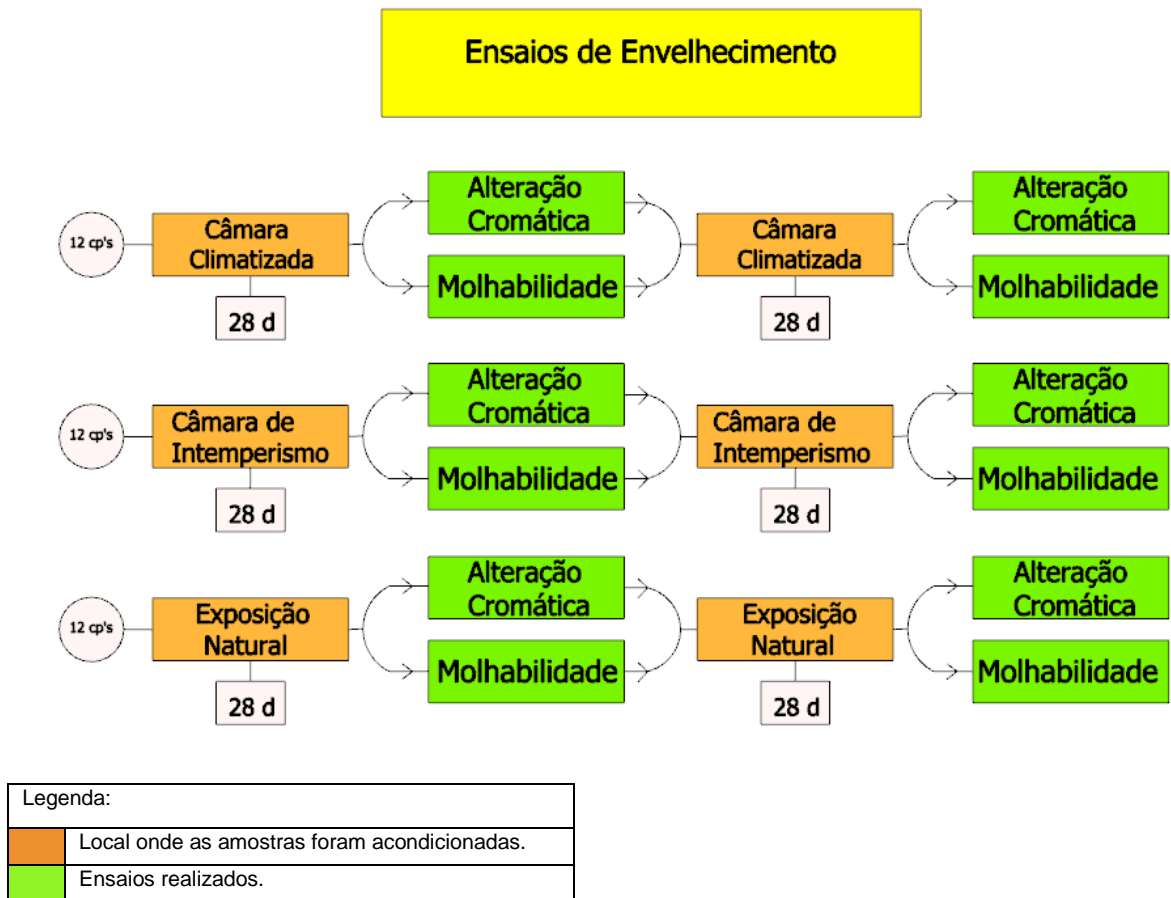


Figura 10 – Diagrama dos ensaios de envelhecimento



(fonte: própria do autor)

## 3.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS AVALIADAS

Na construção civil é fundamental o conhecimento do comportamento do material com que se trabalha, isto é, suas propriedades mecânicas em várias condições de uso. As condições de uso envolvem: resistência à compressão, módulo de deformação, resistência à tração na flexão, entre outras.

### 3.1.1 Resistência à Compressão

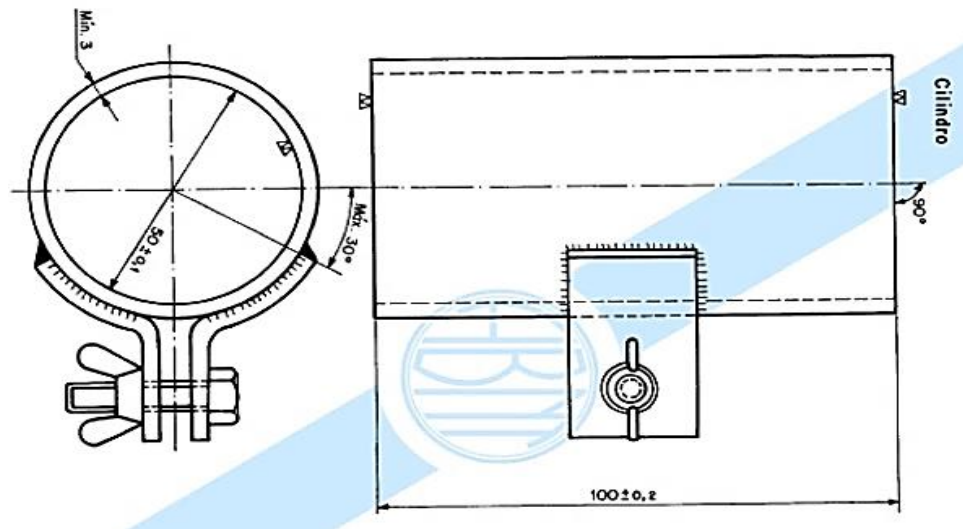
A resistência mecânica é a propriedade que dá a capacidade às argamassas de suportar as ações de diferentes naturezas. Essa propriedade se mostra importante para a boa manutenção das juntas argamassadas, prevenindo o aparecimento de trincas e fissuras de maneira prematura (LOPES, 2015).

Os ensaios de resistência à compressão são extremamente importantes para concretos e argamassas em geral. Com relação aos rejuntas serve como ponto de comparação do composto com outros materiais de preenchimento e com a própria argamassa de assentamento.

Como esta propriedade é proporcional à propriedade do módulo de deformação, quanto maior a resistência à compressão, maior deverá ser o módulo de deformação e conseqüentemente menor a capacidade da argamassa absorver deformações intrínsecas e as deformações decorrentes de movimentos estruturais (ROCHA-GOMES, 2008).

Para este ensaio foram produzidos corpos de prova cilíndricos com diâmetro interno de (50mm +/- 0,1) mm e altura de (100mm +/-), mm tendo como base o “anexo D” da NBR 14992 (ABNT, 2003), conforme Figura 11. Para cada uma das três marcas estudadas foram moldados oito cp's, quatro dos mesmos foram ensaiados aos 14 dias e os 4 restantes, ensaiados aos 28 dias.

Figura 11 - Moldes para os corpos de prova cilíndricos



(fonte: ABNT NBR 7215:1996)

O procedimento executivo dos testes de compressão também foi realizado de acordo com a NBR 14992 (ABNT, 2003), com taxa de aplicação de carga de  $(0,25 \pm 0,05)$  MPa. Foram estipulados os desvios relativos máximos para cada marca e foram eliminados os resultados onde o desvio foi maior que 6%. Os resultados do ensaio, presentes no próximo capítulo, indicam as características do e respectivas resistências à compressão de cada corpo de prova, segundo a NBR 14992 (ABNT, 2003).

### 3.1.2 Módulo de Deformação Estático na Compressão

Segundo Tristão (1995), as resistências mecânicas das argamassas de revestimento não são relevantes quando analisadas isoladamente. Estas propriedades se tornam importantes à medida que se relacionam com outras propriedades, como a elasticidade.

O módulo de deformação é uma propriedade importante das argamassas: avalia sua capacidade de deformação, frente a esforços, sem que ocorram rupturas prejudiciais ao seu desempenho (fissuras visíveis). Porém, não há normalização brasileira para sua definição. Cada pesquisador adota um método de ensaio e um formato de corpo-de-prova.

O módulo de deformação estático do concreto é normatizado pela NBR 8522 (ABNT, 2008). Os ensaios estáticos são destrutivos, ou seja, os corpos de prova não podem ser reutilizados depois de submetidos a estes ensaios. Segundo ela os corpos cilíndricos podem ser moldados ou extraídos da estrutura. A deformação pode ser medida com relógios comparadores, extensômetros elétricos (acoplados por meio de elásticos ou mesmo colados ao corpo-de-prova) ou medidores de deslocamento (tipo LVDT). Precede o ensaio a determinação da resistência a compressão, através do rompimento de corpos idênticos aos que serão ensaiados. Para o ensaio do módulo existe duas metodologias similares que se distinguem pela forma com que conduzem os carregamentos nos corpos de prova (ABNT NBR 8522:2008).

Para os ensaio de módulo de deformação foram moldados três corpos de prova cilíndricos, com diâmetro interno de  $(50\text{mm} \pm 0,1)$  mm e altura de  $(100\text{mm} \pm)$  mm, por fabricante. O ensaio foi realizado segundo a metodologia “A” da NBR 8522 (ABNT, 2008) com o auxílio de medidores de deslocamento aos 28 dias, conforme pode-se observar na Figura 12.

Figura 12 – Ensaio de módulo em andamento



(fonte: própria do autor)

### 3.1.3 Resistência à Tração na Flexão

Foram também realizados ensaios de tração na flexão conforme a NBR 14992 (ABNT, 2003), cujo objetivo é verificar a capacidade de absorver esforços de tração, das juntas, oriundas sistema de vedação, a fim de evitar fissuras. Os ensaios foram realizados com o mesmo equipamento usado no teste de resistência à compressão mostrado na Figura 12.

Segundo Junginger (2003), em situações críticas de retração a resistência à fissuração pode influenciar positivamente no controle da falha. Entretanto, executar revestimentos muito rígidos e com alta resistência à tração, também podem causar a fissuração, já que a diminuição da capacidade de alívio das tensões faz com que a resistência característica da argamassa à tração seja facilmente superada.

As amostras, Figura 13, foram moldadas em formas prismáticas, de 2,5x2,5x25cm, que receberam aplicação prévia de desmoldante, seguindo a NBR 14992 (ABNT, 2003). Após a moldagem as amostras permaneceram nas fôrmas por (48h +/-2) h em ambiente laboratorial em seguida os cp's foram retirados das formas e mantidos acondicionadas em câmara climatizada, com temperatura de (23 +/-2) °C e umidade relativa do ar (60 +/-5) % por mais 5 dias, totalizando o processo de cura. Para cada marca foram moldados 3cp's que foram ensaiados aos 7 dias de idade, conforme Figura 14.

Figura 13 – Corpos de prova utilizados no ensaio de tração na flexão



(fonte: própria do autor)

Figura 14 – Ensaio de tração na flexão em andamento



(fonte: própria do autor)

O relatório de ensaio, segundo a NBR 14992 (ABNT, 2003), deve indicar as características do material ensaiado, a marca e fabricante, o traço da argamassa para rejuntamento e os resultados individuais e médios de resistência à tração na flexão.

O cálculo da resistência média em megapascals deu-se conforme a equação 1:

$$S = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

S = é o esforço no corpo-de-prova no meio do vão entre apoios, em megapascals;

P = é a carga no momento da ruptura, em newtons;

L = é a distância entre cutelos de apoio, em milímetros;

B = é a largura do corpo-de-prova, em milímetros;

D = é a altura do corpo-de-prova, em milímetros.

### 3.1.4 Permeabilidade

A NBR 14992 (ABNT, 2003) estabelece os requisitos mínimos para argamassas para rejuntamento no que diz respeito ao ensaio de permeabilidade aos 240 minutos. O método proposto para a norma brasileira baseou-se na norma americana e, segundo Falcão Bauer e Rago (1999), percebe-se que as argamassas para rejuntamento que apresentam maiores valores de permeabilidade à água, também apresentam maiores absorções de água por capilaridade.

Para este ensaio o laboratório deve estar em uma temperatura de  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $(60 \pm 5) \%$ . As fôrmas cúbicas devem ter 50mm de aresta, em metal. Deve-se também dispor de coluna de vidro com diâmetro interno de base de 28mm e altura máxima de 200mm, conforme Figura 15, fixada na face rasada do corpo de prova, que deve ser inferior a  $1\text{cm}^3$  (ABNT NBR 14992:2003).

Figura 15 – Ensaio de permeabilidade em andamento



(fonte: própria do autor)

Previamente à realização do ensaio aplicou-se nas formas desmoldante, para posterior moldagem da argamassa para rejuntamento em duas camadas, para cada camada foram executados 25 golpes por aproximadamente 15s. Os corpos de prova ficaram por 48h sobre as mesmas condições que foram estipuladas para o laboratório. A desforma foi realizada após as 48h e o corpo permaneceu sobre as mesmas condições por 28 dias quando da realização do ensaio. O ensaio foi realizado introduzindo água destilada na coluna de vidro, fixada na parte rasada dos cp's, até a graduação zero. Então foi feito o registro das alturas de hora em hora durante as

primeiras 4 horas. O resultado individual de cada leitura é feito visualmente observando o nível da água na coluna de vidro e subtraindo-se o valor de coluna de testemunho fixada sobre placa de vidro.

Foram ensaiados três corpos para cada fabricante, totalizando 9 cp's. Segundo a norma NBR 14992 (ABNT, 2003), no relatório devem estar presentes as características do material, a marca do fabricante, o traço da mistura, a idade dos corpos de prova e por fim os resultados individuais e a média aos 240 min, em cm<sup>3</sup>. Porém, neste estudo serão omitidos os nomes das marcas e fabricantes.

### **3.1.5 Absorção por Capilaridade**

Para Moura (2010) “A absorção das argamassas de revestimento é uma propriedade no estado endurecido que, diferente da resistência à compressão, é influenciada apenas pelos vazios capilares (poros interconectados e superficiais), seu tamanho e continuidade, e não pela porosidade total”.

Este método foi acrescentado ao projeto de norma brasileiro, com base nos resultados comparativos entre dois métodos de ensaio, o método para a determinação da absorção de água em argamassas para rejuntamento: ensaio de absorção de água por imersão - ANSI A 118.6:1992 e o método adaptado da NBR 9779 (ABNT, 1995) que sugere adaptações ao método de absorção de água por capilaridade, usado em concreto, para ser utilizado em argamassas de revestimento (FALCÃO BAUER; RAGO, 1999).

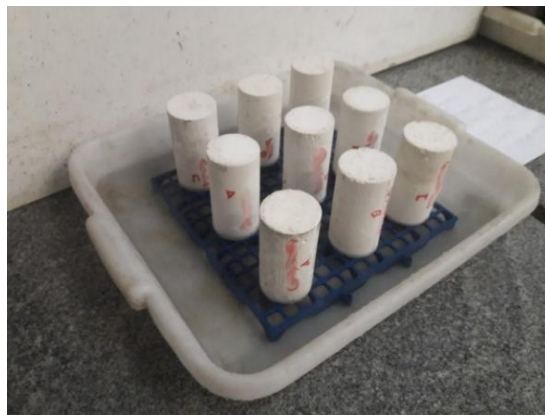
Embora os resultados demonstrarem que os dois métodos não podem ser comparados, a norma atual adotou o método brasileiro por apresentar maior possibilidade para diferenciar os tipos de argamassas para rejuntamento, observando-se faixas nítidas de capilaridade; houve alteração apenas com relação ao tempo do ensaio que passou de 360 min para 300 min (FALCÃO BAUER; RAGO, 1999). No ensaio é determinada a quantidade de água absorvida pelo corpo-de-prova por meio da ascensão capilar. Essa propriedade pode classificar a argamassa quanto à sua capacidade de absorver a água do substrato (FALCÃO BAUER; RAGO, 1999).

Para este trabalho foram moldados 9 cp's cilíndricos (3 para cada fabricante) que foram ensaiados nos moldes da NBR 14992 (ABNT, 2003) aos 28 dias. Antes da



realização dos ensaios os corpos permaneceram em estufa à temperatura de 100 °C até a constância de massa e resfriados até a temperatura ambiente em dessecador para pesagem de referência. Foram então posicionados em bacia com água com uma altura da lâmina do líquido de 5mm acima face rasada do corpo de prova de modo que mais de 90% da mesma face estivesse em contato com a água, conforme Figura 16. A partir de então todos os corpos foram pesados de hora em hora, totalizando 300 min de ensaio.

Figura 16 – Ensaio de absorção em andamento



(fonte: própria do autor)

### 3.2 INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO NO DESEMPENHO

Visando contribuir para edificações com menor índice de manifestações patológicas, estudos e pesquisas vêm sendo realizados com o intuito de gerar novos procedimentos metodológicos que promovam melhor compreensão do comportamento frente às ações externas e internas e garantam as funções para as quais as edificações são destinadas, ou seja, garantir proteção mecânica, física, térmica, estanqueidade, dentre outras (PAES; CARASEK, 2002).

Os ensaios utilizados para avaliação da influência do envelhecimento visaram comparar as três marcas estudadas frente ao intemperismo natural e ao intemperismo acelerado. Para balizar essas diferenças foram escolhidos dois métodos, a medição da alteração cromática e a análise da molhabilidade através da leitura, das variáveis de respostas, dos ângulos de contato da gota de água com a superfície. Foram usados nos testes 12 cp's de cada marca para avaliação. Antes de colocá-los na respectiva

unidade de envelhecimento foram realizados, em todos os corpos, ensaios para avaliação da alteração cromática e da molhabilidade, para ter-se uma leitura inicial do desempenho. Para referência foram também deixados cp's em câmara climatizada, conforme Figura 17. A câmara climatizada possui condições de umidade relativa de  $(60 \pm 5) \%$  e temperatura de  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

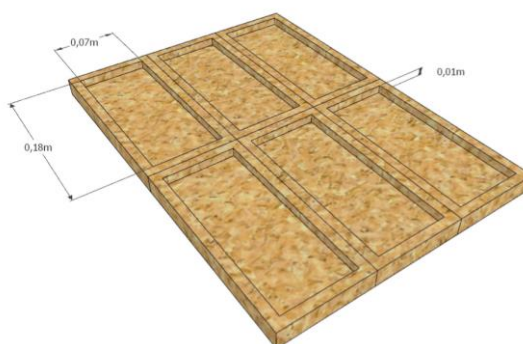
Figura 17 – Placas em repouso na câmara climatizada



(fonte: própria do autor)

Os corpos de prova foram moldados em formas retangulares, com dimensões internas de 70 x 180 x 10 mm para que assim coubessem ao mesmo tempo na câmara de intemperismo e no suporte utilizado para exposição natural, bem como tivessem ampla superfície para realização dos ensaios, conforme Figura 18.

Figura 18 - Forma usada para moldar as placas



(fonte: própria do autor)

### **3.2.1 Ensaio em Câmara de Envelhecimento Acelerado**

#### **3.2.1.1 Definições**

A ação do tempo é crucial, tendo em vista que todo elemento sofre um processo de degradação. Contudo, esse processo pode ser acelerado ou reduzido dependendo das condições de exposição e critérios de manutenção.

Segundo John; Sato (2006):

Os ensaios de envelhecimento acelerado são realizados em laboratório, simulando a ação de agentes de degradação em intensidades muito superiores às esperadas em condições reais de uso.

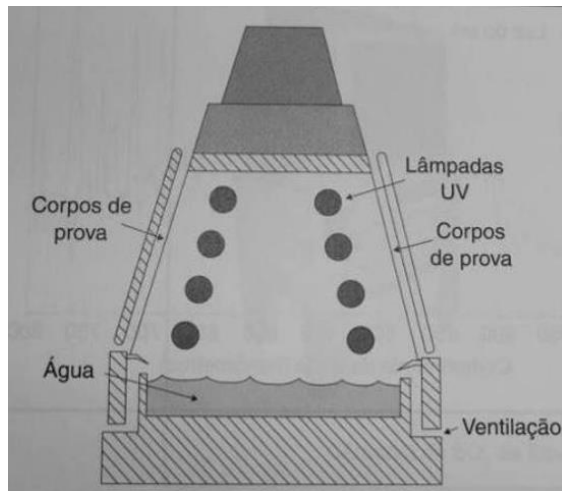
Há de se salientar que os ensaios em ambientes restritos (câmaras), só submetem os corpos a alguns tipos de intempéries. Na realidade haverá outros elementos nocivos que agirão complementarmente (JOHN; SATO, 2006).

#### **3.2.1.2 Procedimentos**

O ensaio de envelhecimento acelerado foi realizado no Laboratório de Materiais e Tecnologias do Ambiente construtivo (LAMTAC). Foram dispostos 12 cp's (4 de cada fabricante) dentro de uma câmara que tem como característica a exposição ao intemperismo acelerado, de modo que se possa avaliar a perda da capacidade da argamassa para rejuntamento ao longo do tempo, muito mais rápido que o natural.

A câmara usada no ensaio foi o equipamento de intemperismo da fabricante BASS. Possui as funções de radiação solar produzida por lâmpadas fluorescentes UVA, que simulam a ação do sol, e condensação que simulam as condições de chuva. Pode-se verificar o esquema de funcionamento na Figura 19.

Figura 19 - Esquema de funcionamento da câmara UV e umidade



(fonte: LOPES, 2015)

A câmara é composta de oito lâmpadas fluorescentes, conforme Figura 20, tipo UVA 340 nm com 40w de potência e umidade entre 95% e 100%. Essa umidade faz com que a água condense na superfície das placas (LOPES, 2015).

Figura 20 - Câmara de envelhecimento acelerado: (a) disposição das lâmpadas e (b) disposição dos cp's



(a)



(b)

(fonte: própria do autor)

A ASTM D4587:2011 propõe que em seus ciclos, a temperatura de condensação esteja 10°C a 20°C mais baixa que a temperatura de radiação. Por isso, neste trabalho, as doze placas de cada fabricante foram submetidas a temperaturas

de 40°C no ciclo de umidade e 50°C no período de utilização das lâmpadas ultravioletas (8 horas por ciclo) durante 28 dias.

### **3.2.2 Ensaios de Envelhecimento Natural**

#### **3.2.2.1 Definição**

A exposição natural é, como o próprio nome diz, a exposição do material ensaiado às intempéries climáticas de um determinado local. Nos edifícios, fica subordinada à influência do comportamento das propriedades dos elementos e dos seus componentes, além da interação entre estes ao longo do tempo (SILVA *et al.*, 2014). Deve-se deixar claro que embora produza resultado fidedigno ao local, o mesmo pode variar conforme a região e condições de uso para a qual for exigido.

Lopes (2015) relata ser um experimento de longa duração que produz resultados muito condizentes para o ambiente no qual foi ensaiado.

#### **3.2.2.2 Procedimento**

O ensaio de envelhecimento natural foi realizado na CIENTEC, que está localizado em uma região central da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, conforme pode-se observar na A CIENTEC possui uma estrutura previamente instalada para ensaios de placas, com ângulo de inclinação de 40°, montada para aproveitar a luz solar conforme a NBR 15569 (ABNT, 2008) que regulamenta os sistemas de aquecimento solar com o objetivo de absorver a maior quantidade possível de raios solares. O fato de possuir inclinação também é interessante pois aumenta a chance de a incidência da chuva ser o mais perpendicular possível às placas.

Figura 21 . Embora seja uma área cercada, além das intempéries do clima, as placas estavam sujeitas às impurezas provenientes do trânsito da redondeza e da umidade relacionada com a presença do rio Guaíba.

A CIENTEC possui uma estrutura previamente instalada para ensaios de placas, com ângulo de inclinação de 40°, montada para aproveitar a luz solar conforme

a NBR 15569 (ABNT, 2008) que regulamenta os sistemas de aquecimento solar com o objetivo de absorver a maior quantidade possível de raios solares. O fato de possuir inclinação também é interessante pois aumenta a chance de a incidência da chuva ser o mais perpendicular possível às placas.

Figura 21- Planta de localização dos ensaios (ponto em destaque)



(fonte: adaptado do Google Maps Inc, 2017)

Da mesma forma que foi realizado na câmara de intemperismo, 12 cp's (4 de cada fabricante) foram expostos à condição local na CIENTEC. Estes cp's foram ensaiados previamente quanto à molhabilidade e alteração cromática para fins de comparação de resultados posteriores.

A Figura 22 ilustra as placas de argamassas para rejuntamento dispostas sobre o suporte que as submete ao ensaio de envelhecimento natural. Os cp's foram expostos ao mesmo ambiente e sob as mesmas condições, de forma que a posterior comparação seja a mais fidedigna possível.

Figura 22 – Exemplo de suporte para apoio dos corpos de prova de argamassa para envelhecimento natural: a) suporte dos cp's; b) exemplo de disposição dos cp's



(a)

(b)

(fonte: própria do autor)

### 3.3 CRITÉRIO PARA AVALIAÇÃO DO ENVELHECIMENTO

Foram realizados os ensaios de alteração cromática e ensaio da alteração do ângulo de contato com a gota de água em todos os 36 corpos de prova, antes e depois de sujeitos ao intemperismo. A seguir, serão descritos os ensaios utilizados para avaliação do envelhecimento, de forma qualitativa.

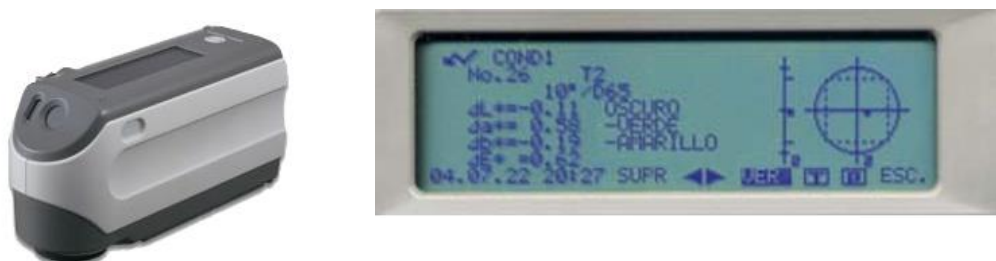
#### 3.3.1 Ensaio de Alteração Cromática

O ensaio de alteração cromática é importante, principalmente quando se fala de argamassas para rejuntamento externo na cor branca. Essa cor dificilmente é usada pelas construtoras para fachadas pois tende a apresentar seu desgaste e manchamento muito mais rápido que outras cores mais escuras, que refletem menos a luz (LOPES, 2015).

Para avaliação do material exposto a diferentes condições, foram utilizados ensaios de alteração cromática. Este ensaio foi realizado com o uso de um espectrofotômetro, vide Figura 23, sendo que os dados foram coletados em termos das variáveis  $L^*a^*b^*$  do sistema CIELAB através de três leituras, efetuadas em cada placa com o aparelho de medição (espectrofotômetro portátil). O sistema de cor CIELAB é o que melhor representa a sensibilidade humana para cor, pois é a escala de cores mais uniforme e linear. Em uma escala de cor uniforme, distâncias iguais entre

dois pontos no gráfico correspondem a diferenças igualmente percebidas pelo olho humano (HUNTERLAB, 2015).

Figura 23 - Espectrofotômetro portátil CM-2500d



(fonte: sensing.konicaminolta.com.mx, acessado em 08/07/2017)

A Figura 24, representa o espaço de cores do sistema CIELAB, que é organizado em coordenadas retangulares cartesianas. O eixo vertical, eixo  $L^*$ , vai do topo à base, sendo que o valor máximo de  $L^*$  é 100, representa a cor branca e o mínimo é zero, representa a cor preta. Os eixos  $a^*$  e  $b^*$  não tem limites numéricos específicos, de forma que o vermelho é representado por “+a” e o verde por “-a”; o amarelo como “+b” e o azul “-b” (HUNTERLAB, 2015).

Figura 24 - Espaço de cores do sistema CIELAB





(fonte: HUNTERLAB, 1996)

O ensaio foi realizado antes e após da exposição a agentes de intemperismo, para se fazer medições de alterações de cores manifestadas pelos corpos de prova. A alteração cromática é apresentada pela variação das coordenadas (“L”, “a” e “b”) expressas pelas variáveis  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ ,  $\Delta L$  e  $\Delta E$ . Para determinar a diferença total de cor entre as três coordenadas é utilizada a equação 2:

$$\Delta E^* = [\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2]^{1/2}$$

Equação 2

$\Delta L^*$  = diferença em mais claro e escuro;

$\Delta a^*$  = diferença em vermelho e verde;

$\Delta b^*$  = diferença em amarelo e azul;

$\Delta E^*$  = diferença total de cor.

Neste trabalho todos os corpos colocados sobre intemperismo foram ensaiados em relação à alteração cromática. Para diminuir a variabilidade das medições foi produzido um molde (máscara) contendo três janelas de medição, assim cada uma das 36 amostras possui 3 medições antes e 3 medições após o intemperismo.

### 3.3.2 Ensaio do Ângulo de Contato da Gota de Água com a Superfície

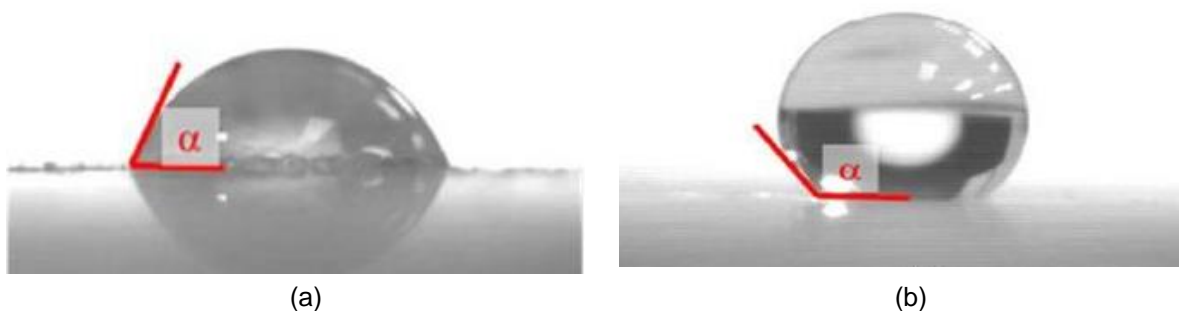
Segundo Moura (2010), o estudo do ângulo de contato formado entre a gota d’água e a superfície do revestimento vem sendo considerado um importante fator para determinação da permeabilidade de um substrato. A molhabilidade, capacidade

do líquido em manter contato com a superfície, aumenta quando há uma redução do ângulo de contato com a água. Por isso, no presente trabalho, as placas foram expostas ao intemperismo para verificação da alteração dos respectivos ângulos de contato com a gota de água com a superfície antes e depois da exposição.

Segundo Medeiros *et al.* (1994), as forças que fazem com que os líquidos penetrem no revestimento através da capilaridade são influenciadas por três fatores: viscosidade do líquido, raio dos poros e ângulo de contato da água com o substrato.

Segundo a ASTM D7334:2008, uma superfície é hidrofílica quando seu ângulo de contato com gota d'água é menor que 45° e hidrofóbica quando seu ângulo for maior que 90°. Em superfícies hidrofílicas ocorre atração molecular com a água e o ângulo de contato é agudo, contrapondo superfícies hidrófobas cujo ângulo de contato é obtuso como mostrado na Figura 25.

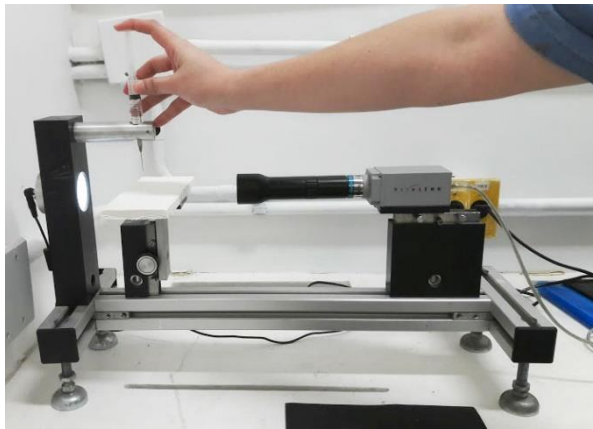
Figura 25 - Ângulo da gota d'água com a superfície (a) hidrofílica e (b) hidrófoba



(fonte: MEDEIROS *et al.*, 2015)

Os ensaios para avaliação da molhabilidade foram realizados no LACER (Laboratório de Materiais Cerâmicos). O aparelho usado para medição do ângulo de contato é chamado de goniômetro, que segue representado abaixo, na Figura 26, junto com a seringa necessária para colocação da quantidade desejada do líquido. O procedimento do ensaio não normatizado foi baseado em conhecimento empírico, efetuando-se a colocação das placas sobre a superfície indicada e aplicando o gotejamento com seringa para as fotos da câmara posicionada.

Figura 26 - Goniômetro usado para medição do ângulo da água com a superfície



(fonte: própria do autor)

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados qualitativos e quantitativos dos ensaios realizados. Primeiro serão expostos os resultados referentes aos ensaios de caracterização, seguido dos resultados dos ensaios para avaliação do envelhecimento, para finalmente a realização da comparação e análise do desempenho das marcas estudadas. Os resultados apresentados são válidos somente para os materiais, métodos e equipamento usados nesta pesquisa.

### 4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

#### 4.1.1 Resistência à Compressão

Os resultados individuais e médios de resistência à compressão, aos 14 dias, para as marcas escolhidas, ensaiado conforme NBR 14992 (ABNT, 2003), encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência à compressão aos 14 dias para diferentes corpos de prova de argamassas para rejuntamento

	Amostra	Resistência (MPa)	Desvio relativo máximo (%)
Fabricante A	1	12,18	3,65
	2	12,07	
	3	12,85	
	4	12,39	
	Média	12,39	
Fabricante B	1	5,04 (descartado)	2,91
	2	15,10	
	3	15,30	
	4	15,87	
	Média	15,42	
Fabricante C	1	26,47	1,71
	2	25,58	
	3	26,02	
	4	17,70 (descartado)	
	Média	26,02	

A NBR 14992 (ABNT, 2003) apresenta como exigência mínima uma resistência à compressão de 10 MPa aos 14 dias, neste sentido todos os fabricantes ficaram além do limite de 10 MPa. Pode-se notar que, para que o desvio relativo máximo ficasse abaixo de 6%, foram descartadas as amostras que mais se afastavam da média, o que é aceitável segundo a NBR 14992 (ABNT, 2003). É interessante notar que o fabricante C apresenta um média muito superior comparada com as médias dos demais.

Os resultados deste ensaio foram superiores a ensaios realizados em outros trabalhos, como o de Lopes (2015), cujas resistências médias para argamassas de rejuntamento branco variam entre 8,83 MPa a 11,52 MPa.

Foi também realizado, aos 28 dias, para servir como referência ao ensaio de módulo de deformação. O ensaio só foi realizado para as marcas A e B, devido à indisponibilidade do material da marca C. Os respectivos resultados encontram-se no anexo A.

#### **4.1.2 Módulo de Deformação**

O módulo de deformação na prensa foi realizado logo após ao ensaio de resistência à compressão, aos 28 dias de idade, em corpos de prova cilíndricos (5x10 cm). As resistências médias à compressão aos 28 dias, conforme anexo A, serviram para alimentar os dados necessários referente à “metodologia A” da NBR 8522 (ABNT, 2008), usada para realização do ensaio do módulo de deformação. Os resultados são apresentados na Tabela 3. Este ensaio não foi realizado para o fabricante C, devido a indisponibilidade do produto na data da respectiva moldagem.

O ensaio mostra-se coerente com o ensaio de resistência à compressão, as argamassas que apresentaram maior resistência à compressão também apresentaram um maior módulo de deformação.

Tabela 3 – Módulos de deformação das argamassas para rejuntamento aos 28 dias

	Amostras	Módulo de deformação (GPA)	Desvio relativo máximo (%)
Fabricante A	1	7,33	4,05
	2	6,99	
	3	6,87	
	4	7,45	
	Média	7,16	
Fabricante B	1	9,41	10,91
	2	8,05	
	3	8,70	
	4	7,83	
	Média	8,47	

#### 4.1.3 Resistência à Tração na Flexão

O ensaio de resistência à tração na flexão, realizado aos sete dias de idade, apresentou resultados médios de resistência parecidos para todos os fabricantes avaliados. Os valores individuais dos corpos de prova para cada marca e as médias encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultados do ensaio de tração na flexão

	Amostra	Resistência (MPa)	Média
Fabricante A	1	3,55	3,53
	2	3,11	
	3	3,92	
Fabricante B	1	4,97	4,68
	2	3,85	
	3	5,24	
Fabricante C	1	3,20	4,09
	2	5,09	
	3	3,98	

Nota-se que todos os corpos de prova, independente do fabricante, ultrapassam o valor de 3 MPa, que é o valor mínimo permitido pela norma NBR 14992

(ABNT, 2003), referente as argamassas para rejuntamento externo (tipo II). Porém, pode-se notar, comparativamente, que o fabricante “B” apresenta uma resistência maior que os demais, o que, segundo Lopes (2015), pode significar uma melhor eficiência frente aos esforços de tração das juntas, levando a uma menor probabilidade de fissuras e por consequência menor infiltração de água. Nota-se também que, para o fabricante “C”, era esperado uma resistência maior, devido a sua elevada resistência à compressão.

## 4.2 PROPRIEDADES RELACIONADAS À DURABILIDADE

### 4.2.1 Permeabilidade aos 240 Minutos

Conforme a Tabela 5, verifica-se que somente duas marcas, “B” e “C”, atendem a especificação da NBR 14992 (ABNT, 2003) de absorção inferior a 1cm<sup>3</sup> em 240 minutos de ensaio.

Tabela 5 - Resultado do ensaio de permeabilidade ao longo do tempo de argamassas para rejuntamento aos 28 dias

	Amostras	Permeabilidade (cm <sup>3</sup> ) durante o tempo (min)			
		60'	120'	180'	240'
Marca A	1	0,9	1,3	2,2	2,6
	2	1,2	2,0	3,2	>3,5
	3	0,9	1,4	2,1	2,5
Marca B	1	0,4	0,5	0,6	0,7
	2	0,5	0,7	0,8	0,9
	3	0,5	0,6	0,7	0,7
Marca C	1	0,4	0,5	0,7	0,8
	2	0,4	0,5	0,7	0,9
	3	0,4	0,5	0,7	0,8

Nota-se que a marca “A” apresentou um resultando insatisfatório, inclusive no que se refere às argamassas para rejuntamento interno (menor que 2 cm<sup>3</sup>), segundo a 14992 (ABNT, 2003). Na Tabela 6, seguem as respectivas médias de

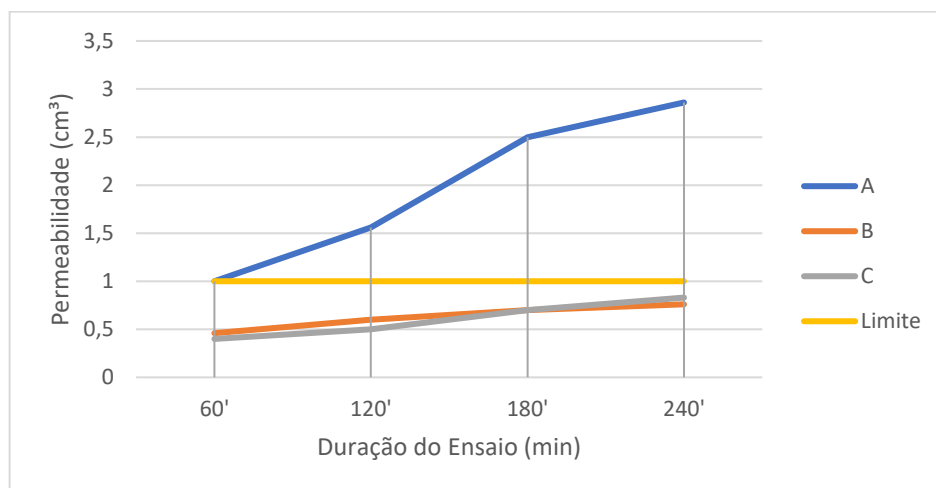
permeabilidade, considerando todos os corpos de prova por fabricante e gráfico com evolução da permeabilidade com os respectivos tempos.

Tabela 6 - Média dos resultados de permeabilidade em relação à duração do ensaio

Fabricante	Permeabilidade média (cm <sup>3</sup> ) em relação à duração do ensaio			
	60'	120'	180'	240'
<b>A</b>	1,00	1,56	2,50	2,86
<b>B</b>	0,46	0,60	0,70	0,76
<b>C</b>	0,40	0,50	0,70	0,83
<b>Limite</b>	1,00	1,00	1,00	1,00

Somente a marca C apresenta um comportamento aquém do limite normatizado pela NBR 14992 (ABNT, 2003), conforme apresentado na Figura 27.

Figura 27 – Evolução da permeabilidade média em relação ao tempo de ensaio



#### 4.2.2 Absorção de Água por Capilaridade aos 300 Minutos

Os resultados do ensaio de absorção por capilaridade estão apresentados na Tabela 7. Pode-se perceber que somente a marca “B” fica aquém do limite normatizado para absorção de 0,3g/cm<sup>3</sup>. Os outros fabricantes apresentaram resultados parecidos, os dois com absorção dentro dos limites até a quarta hora de



ensaio, só apresentando resultado insatisfatório na última medição aos 300 minutos. A principal diferença do fabricante “B” é, provavelmente, a menor porosidade na sua argamassa.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de absorção por capilaridade

	Amostra	Massa das amostras (g) durante o tempo (min)						Absorção total (g)	Absorção (g/cm <sup>2</sup> )
		0'	60'	120'	180'	240'	300'		
Marca A	1	307,87	310,1	311,13	311,99	312,54	313,01	5,14	0,261
	2	308,6	312,67	314,51	315,9	316,91	317,78	9,18	0,467
	3	309,15	312,18	313,52	314,48	315,24	315,9	6,75	0,343
Marca B	1	295,65	297,72	298,64	299,26	299,73	300,07	4,42	0,225
	2	298,15	300,35	301,29	301,97	302,44	302,84	4,69	0,238
	3	300,00	301,78	303,81	304,45	305,07	305,53	5,53	0,281
Marca C	1	310,19	313,52	315,99	317,11	318,29	319,38	9,19	0,468
	2	310,28	314,32	315,98	317,34	318,55	319,58	9,3	0,473
	3	310,47	313,48	314,95	316,45	317,62	318,5	8,03	0,408

Para facilitar a comparação, a Tabela 8 apresenta os resultados médios respectivos às marcas ensaiadas considerando à absorção em relação ao tempo.

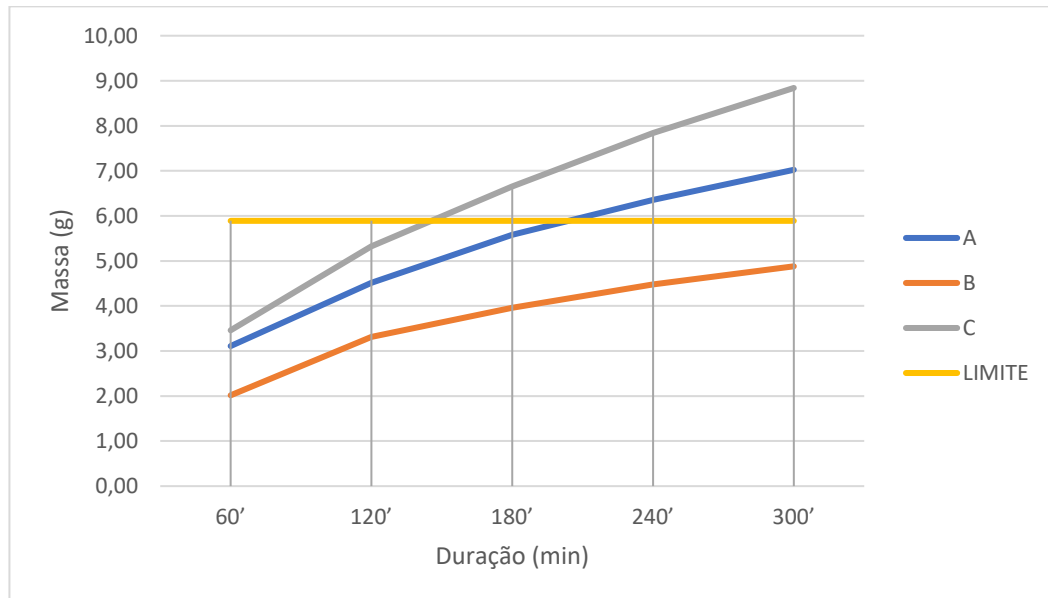
Tabela 8 - Absorção total média por fabricante

Fabricante	Absorção total média (g) durante o tempo (min)				
	60'	120'	180'	240'	300'
A	3,11	4,51	5,58	6,36	7,02
B	2,02	3,31	3,96	4,48	4,88
C	3,46	5,33	6,65	7,84	8,84

Verifica-se através dos resultados, plotados na Figura 28, que apenas o fabricante B ficou dentro dos limites previstos pela NBR 14992 (ABNT, 2003). A análise mostra que, com relação a esse parâmetro existem diferenças críticas entre

os produtos comercializados. Portanto, o cuidado com a escolha do material pode ser crucial para o bom funcionamento do sistema.

Figura 28 – Absorção total média em função do tempo



## 4.3 INFLUÊNCIA DO ENVELHECIMENTO NO DESEMPENHO

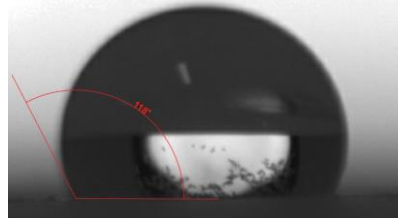
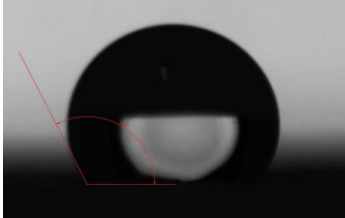
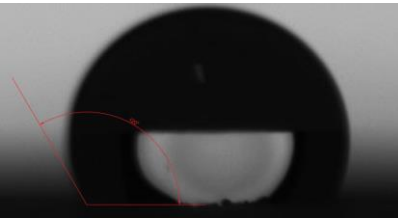
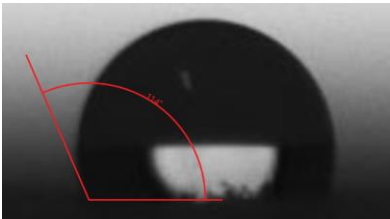
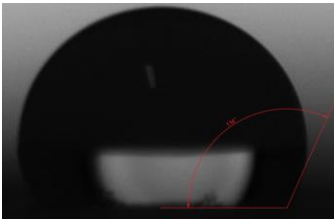
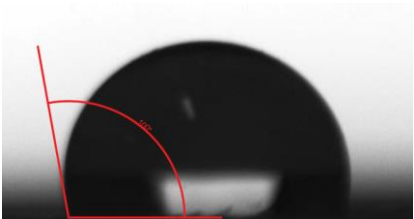
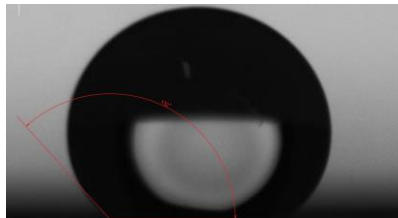
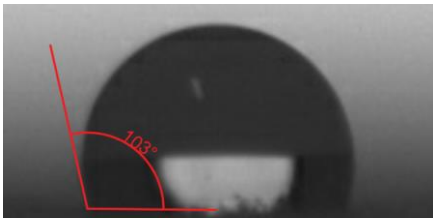
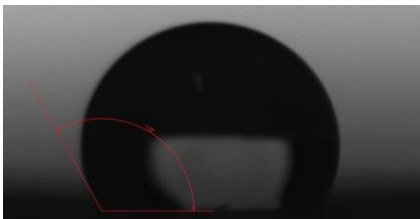


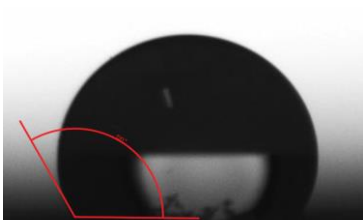
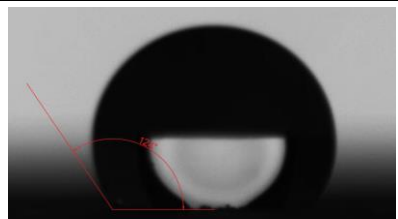

### 4.3.1 Alteração do Ângulo de Contato com a Gota de Água

De acordo com o ensaio realizado com goniômetro, todos os corpos de prova diminuíram seu ângulo de contato com água entre a medição de referência e a medição após 28 dias. As tabelas (9, 11 e 13) apresentam os valores encontrados para os ensaios realizadas nos corpos de prova segundo o local onde foram acondicionados (câmara climatizada, câmara de intemperismo e CIENTEC), bem como a medida da variação angular, cujo valor representa a diferença dos resultados entre as medições. Também estão apresentadas as respectivas fotos que deram origem aos ângulos apresentados (tabela 10, 12 e 14).

Tabela 9 - Ângulo de contato das amostras que foram colocadas na câmara climatizada

Fabricante	Amostra	Ângulo de contato (°) de referência	Ângulo de contato (°) após 28 dias	Varição angular (°)	Varição angular média (°)
Marca A	1	118°	117°	1°	12,5
	2	120°	114°	6°	
	3	114°	100°	14°	
	4	132°	103°	29°	
Marca B	1	119°	96°	23°	11,75
	2	132°	120°	12°	
	3	124°	113°	11°	
	4	127°	126°	1°	
Marca C	1	101°	78°	23°	14,5
	2	92°	78°	14°	
	3	119°	105°	14°	
	4	102°	95°	7°	

Tabela 10 – Fotos de referência e após 28 dias, tiradas com o goniômetro para os corpos que ficaram acondicionados na câmara climatizada

Marca	Cp's	Ensaio de referência	Ensaio após 28 dias
Marca A	1		
	2		
	3		
	4		
Marca B	1		
	2		
	3		

continuação

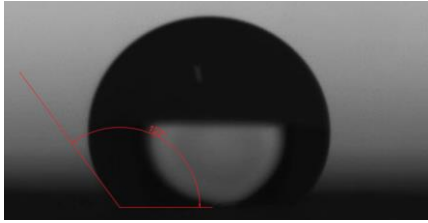
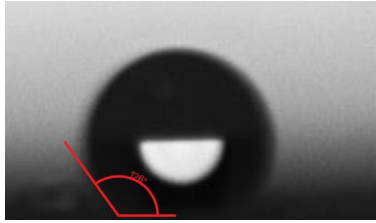
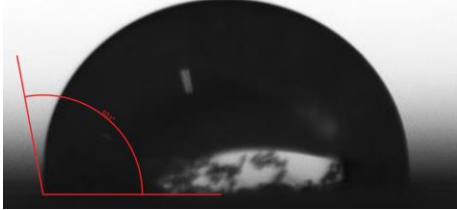
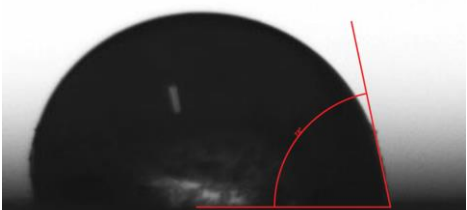
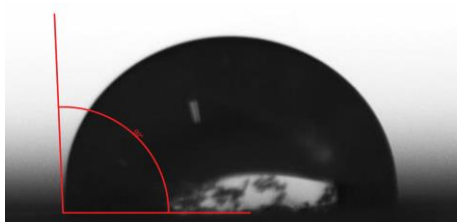
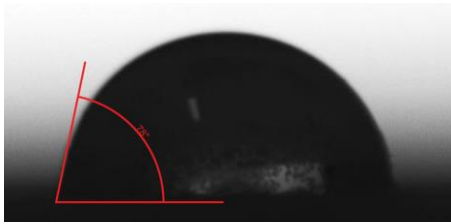
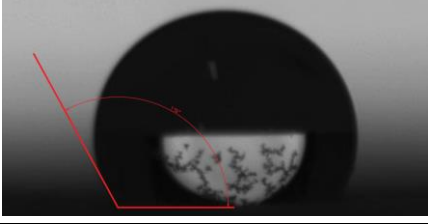
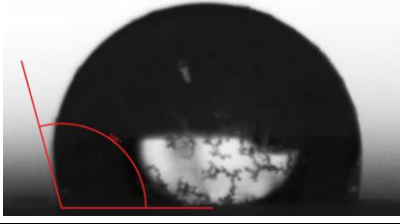
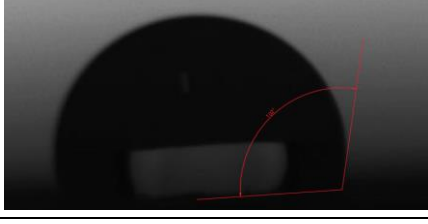
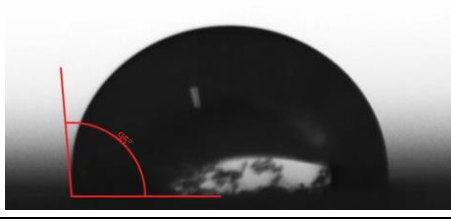
	Cp's	Ensaio de referência	Ensaio após 28 dias
Marca B	4		
	1		
Marca C	2		
	3		
	4		

Tabela 11 - Ângulo de contato das amostras que foram colocadas na câmara de intemperismo

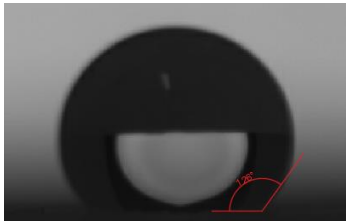
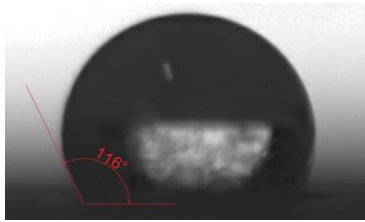
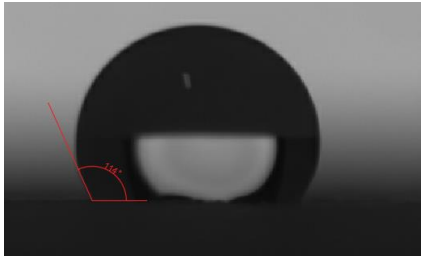
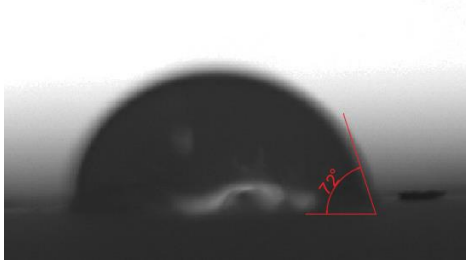
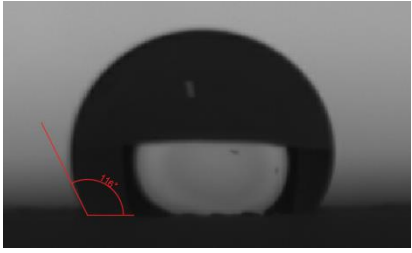
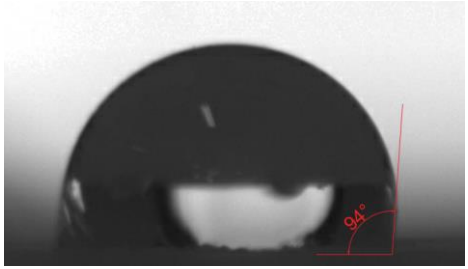
Fabricante	Amostra	Ângulo de contato (°) de referência	Ângulo de contato (°) após 28 dias	Varição angular (°)	Varição angular média (°)
Marca A	1	126°	116°	10°	21,25
	2	114°	72°	42°	
	3	116°	94°	22°	
	4	126°	115°	11°	

continua

continuação

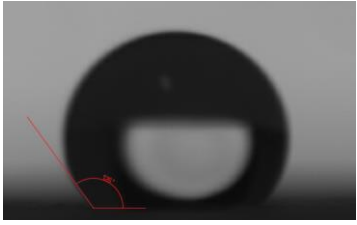
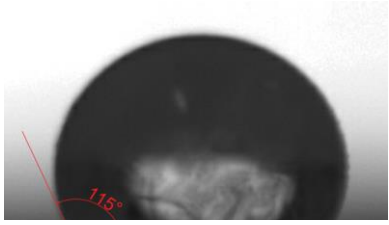
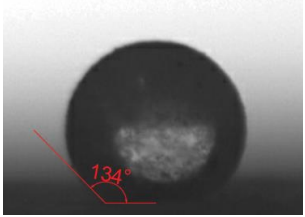
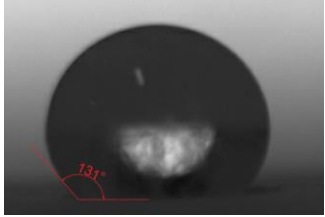
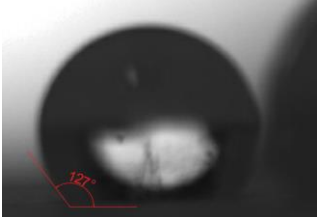
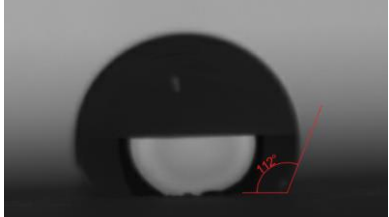
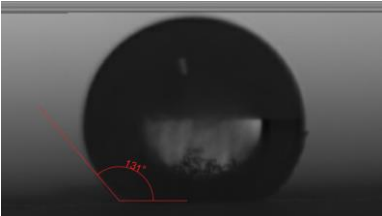
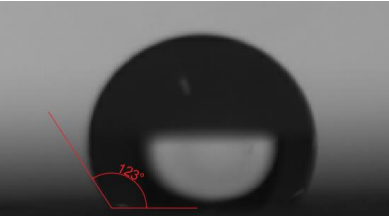
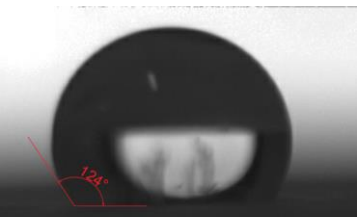
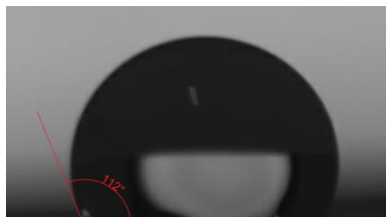
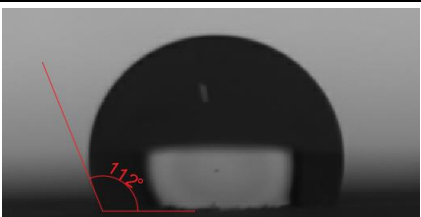

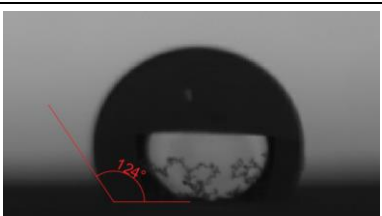
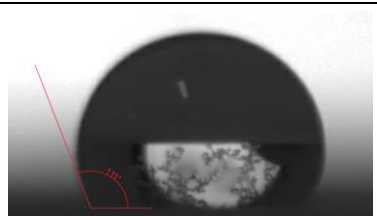
Fabricante	Amostra	Ângulo de contato (°) de referência	Ângulo de contato (°) após 28 dias	Variação angular (°)	Variação angular média (°)
Marca B	1	134°	131°	3°	9,5
	2	127°	112°	15°	
	3	131°	123°	8°	
	4	124°	112°	12°	
Marca C	1	112°	101°	11°	14,75
	2	124°	111°	13°	
	3	127°	103°	24°	
	4	119°	108°	11°	

Tabela 12 - Fotos de referência e após 28 dias, tiradas com o goniômetro para os corpos que ficaram acondicionados na câmara de intemperismo

Fabricante	Amostra	Ensaio de referência	Ensaio após 28 dias
Marca A	1		
	2		
	3		

continua

continuação

	Amostra	Ensaio de referência	Ensaio após 28 dias
Marca A	4		
Marca B	1		
	2		
	3		
	4		
Marca C	1		
	2		

continuação

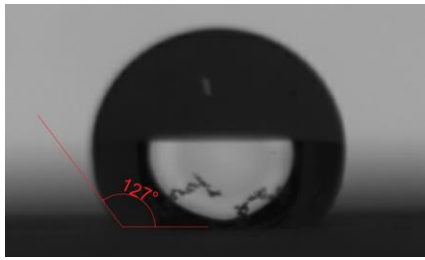
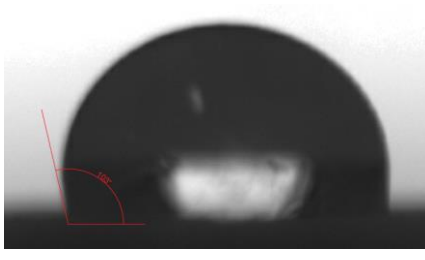
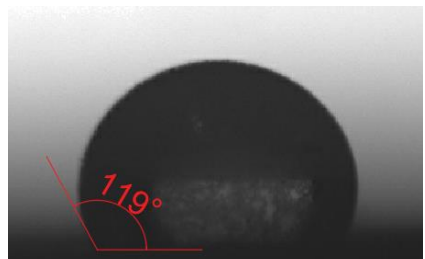
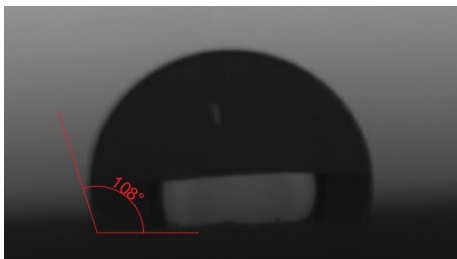
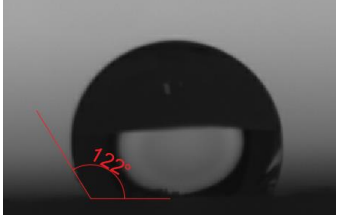
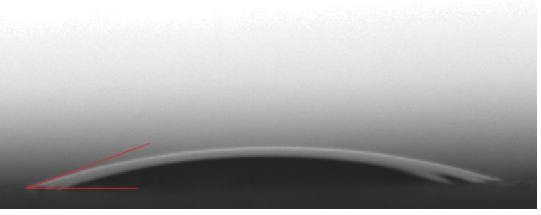
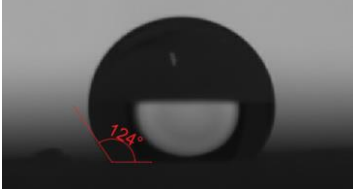

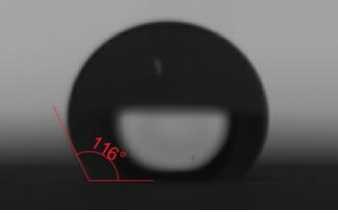
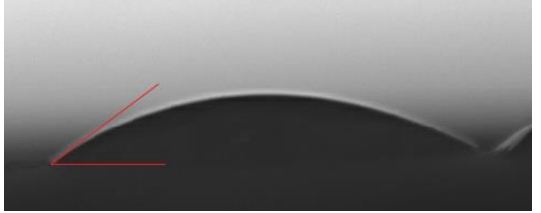

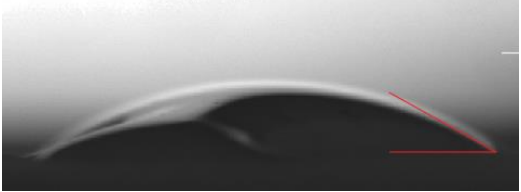
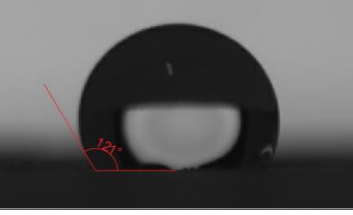
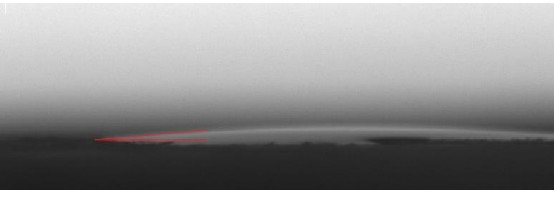
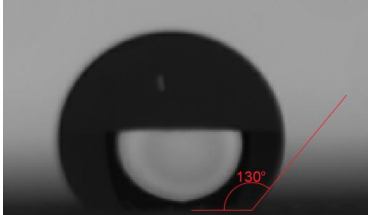
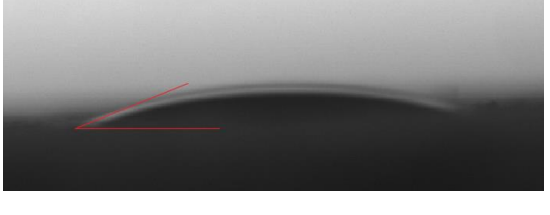
	Amostra	Ensaio de referência	Ensaio após 28 dias
Marca C	3		
	4		

Tabela 13 – Ângulo de contato das amostras que foram colocadas na CIENTEC

Fabricante	Amostra	Ângulo de contato (°) de referência	Ângulo de contato (°) após 28 dias	Variação angular (°)	Variação angular média (°)
Marca A	1	122°	20°	102°	92,5
	2	124°	24°	100°	
	3	116°	33°	83°	
	4	114°	29°	85°	
Marca B	1	121°	5°	116°	104,75
	2	130°	22°	108°	
	3	129°	11°	118°	
	4	130°	53°	77°	
Marca C	1	96°	11°	85°	104
	2	112°	13°	99°	
	3	119°	4°	115°	
	4	123°	6°	117°	

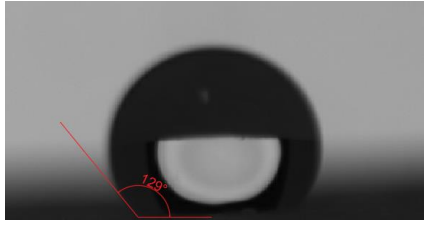
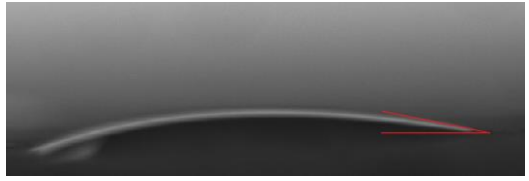
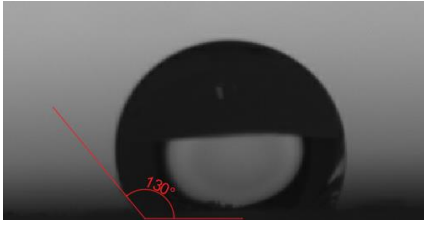
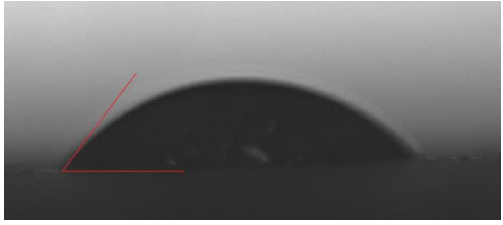
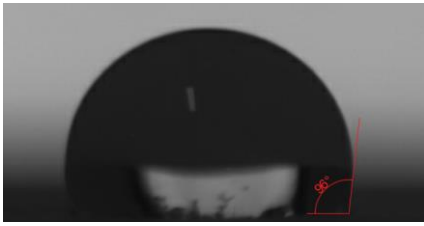
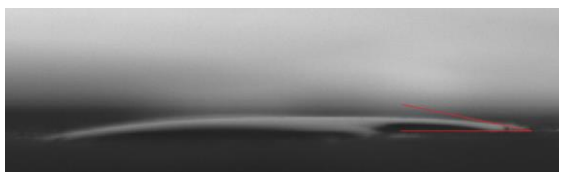
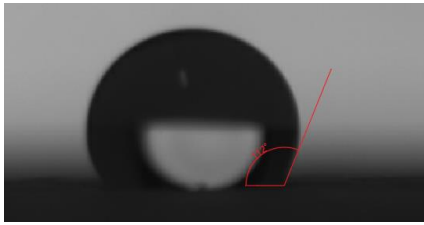
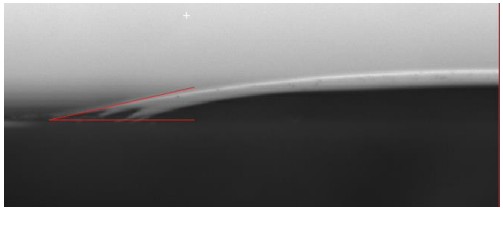
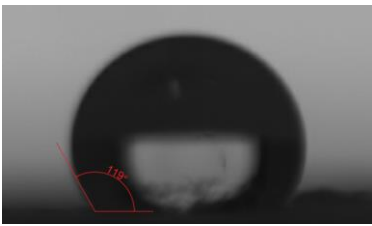
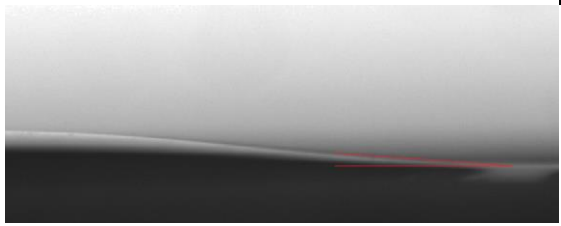
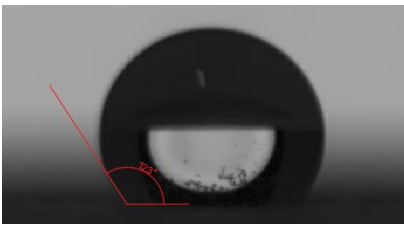
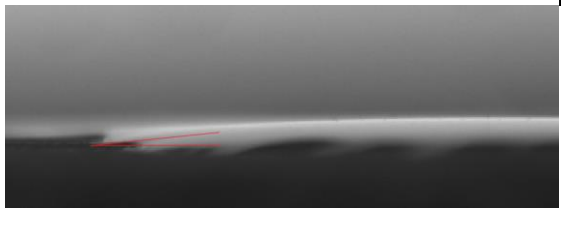


Tabela 14 - Fotos de referência e após 28 dias, tiradas com o goniômetro para os corpos que ficaram acondicionados na CIENTEC

Fabricante	Amostra	Ensaio de referência	Ensaio após 28 dias
Marca A	1		
	2		
	3		
	4		
Marca B	1		
	2		

continua

continuação

	Amostra	Ensaio de referência	Ensaio após 28 dias
Marca B	3		
	4		
Marca C	1		
	2		
	3		
	4		

Pode-se notar que, embora tenha ocorrido diminuição do ângulo de contato com a gota de água em todas as amostras, somente os corpos de prova que ficaram sob exposição natural da CIENTEC tiveram uma diminuição expressiva do ângulo de contato. Como, quanto menor o ângulo de contato, menor a molhabilidade, verifica-se que essa propriedade aumento à medida que as amostras envelhecem, aumentando à sua aderência e força coesiva frente as partículas de água.

Os corpos que ficaram na câmara de intemperismo não mostraram alteração considerável em relação aos mesmos deixados na câmara climatizada, o que comprova que os efeitos da câmara não alteram essa propriedade de forma acelerada, como era de se esperar. Entretanto, as placas que ficaram expostas ao envelhecimento natural apresentaram redução significativa, o que segundo Moura (2010) pode ter sido provocado pela alteração da configuração da superfície das placas de forma a ficarem mais hidrofílicas após o período de exposição e com maior tendência absorção de água.

O fato das amostras terem se deteriorado mais ao envelhecimento natural comparado com ao envelhecimento acelerado, segundo Lopes (2015), deve-se aos seguintes fatores:

- a) o espectro de radiação UVA da câmara de intemperismo é menos intenso do que o espectro solar que inclui radiação UVB;
- b) a temperatura em ambiente natural, provavelmente atinge níveis maiores do que na câmara de intemperismo (50°C);
- c) a ausência de chuva na câmara elimina o desgaste provocado pelo efeito de lavagem nas placas;
- d) as variações de temperatura em ambiente natural são mais bruscas que em ambiente controlado.

#### **4.3.2 Alteração Cromática**

O ensaio de alteração cromática realizado com o uso de espectrofotômetro portátil apresentou os seguintes parâmetros de leitura de cores do sistema CIELAB,

conforme anexo B. Os parâmetros de medição foram descritos no capítulo anterior (capítulo 3).

Com base nos resultados apresentados no anexo B, foram calculados a alteração cromática total ( $\Delta E$ ) média e a alteração do eixo luminosidade ( $\Delta L^*$ ) média das placas ensaiadas de acordo com o local, cujas placas foram acondicionadas para o intemperismo, conforme tabelas 15, 16 e 17. A variação de luminosidade “ $\Delta L$ ” é composta de uma escala entre 0 e 100, na qual o 0 é a cor preta e o 100 é a cor branca; por sua vez a variação total de cor “ $\Delta e$ ” é uma média geométrica de todo o espectro de cores do sistema CIELAB.

Tabela 15 - Alteração cromática média das amostras que foram colocadas na câmara de intemperismo

Fabricante	Amostra	$\Delta L$		Média total ( $\Delta L$ )	$\Delta E$		Média total ( $\Delta E$ )
		Média	CV (%)		Média	CV (%)	
A	1	-0,39	1,23	-0,01	3,36	0,25	2,22
	2	0,28	1,21		1,72	0,08	
	3	-0,28	1,70		1,96	0,49	
	4	0,34	0,50		1,86	0,08	
B	1	-0,50	0,99	-0,26	1,95	0,16	2,27
	2	-0,79	0,98		2,89	0,38	
	3	-0,19	5,43		2,56	0,29	
	4	0,42	1,68		1,67	0,27	
C	1	5,06	0,13	5,15	5,21	0,09	5,33
	2	5,56	0,14		6,27	0,07	
	3	5,33	0,12		5,08	0,13	
	4	4,63	0,03		4,78	0,03	

Tabela 16 - Alteração cromática das amostras que foram colocadas na CIENTEC

Fabricante	Amostra	$\Delta L$		Média total ( $\Delta L$ )	$\Delta E$		Média total ( $\Delta E$ )
		Média	CV (%)		CV (%)	Média	
A	5	0,12	2,22	-0,05	0,29	0,37	0,70
	6	-0,66	1,01		1,63	0,49	
	8	-0,08	1,98		0,16	1,32	
	9	0,43	1,86		0,72	1,61	
B	5	-1,18	0,70	-0,52	3,03	0,20	3,13
	6	-0,56	2,34		3,30	0,28	
	7	-0,04	20,11		3,17	0,35	
	8	-0,31	1,54		3,01	0,14	
C	5	5,55	0,13	4,86	5,65	0,12	5,06
	6	4,92	0,05		5,08	0,03	
	7	4,47	0,03		4,80	0,06	
	8	4,50	0,02		4,72	0,02	

Tabela 17 - Alteração cromática das amostras que foram colocadas na câmara climatizada

Fabricante	Amostra	$\Delta L$		Média total ( $\Delta L$ )	$\Delta E$		Média total ( $\Delta E$ )
		Média	CV (%)		Média	CV (%)	
A	9	-1,03	0,52	-0,53	1,06	0,33	0,73
	10	-0,44	0,28		0,68	0,78	
	11	-0,13	2,04		0,65	0,43	
	12	-0,54	1,49		0,54	1,62	
B	9	-1,03	0,52	-0,53	1,06	0,33	0,73
	10	-0,44	0,28		0,68	0,78	
	11	-0,13	2,04		0,65	0,43	
	12	-0,54	1,49		0,54	1,62	
C	9	6,57	0,04	6,09	6,51	0,04	6,11
	10	5,46	0,09		5,75	0,08	
	11	5,73	0,05		5,86	0,05	
	12	6,60	0,08		6,32	0,09	

Conforme tabelas (15, 16 e 17), percebe-se que os locais de ensaio não influenciaram a alteração do parâmetro ( $\Delta L$ ), levando à conclusão que para o ensaio de 28 dias, esta característica não sofreu interferência da exposição. Os fabricantes “A” e “B” sofreram pequeno escurecimento enquanto o fabricante “C” sofreu clareamento das amostras, o que segundo Lopes (2015), pode acontecer nos primeiros meses de ensaio devido à evaporação de água.

De acordo com os resultados da alteração total de cor ( $\Delta E$ ), observa-se que o local de exposição foi relevante para a variável. Com exceção da marca “C”, as demais amostras sofreram maior alteração quando expostas ao intemperismo natural e ao intemperismo acelerado, o que era esperado devido aos fatores de degradação, que não estão presentes na câmara climatizada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do desenvolvimento deste trabalho, verificou-se que a marca “B” apresentou um desempenho superior em quase todos os aspectos frente aos ensaios de caracterização, como se verifica no Quadro 8, sendo a única a cumprir todos os requisitos mínimos especificados, conforme NBR 14992 (ABNT 2003).

Quadro 8 – Quadro comparativo dos resultados individuais das marcas em relação ao cumprimento dos requisitos mínimos da ABNT NBR 14992:2003

Fabricante	Compressão	Tração na Flexão	Permeabilidade aos 240 minutos	Absorção de água aos 300 minutos
A	Cumpriu	Cumpriu	Não cumpriu	Não cumpriu
B	Cumpriu	Cumpriu	Cumpriu	Cumpriu
C	Cumpriu	Cumpriu	Cumpriu	Não cumpriu

O fabricante “A”, por sua vez, obteve, para os ensaios de permeabilidade aos 240 minutos e absorção de água aos 300 minutos, resultados insatisfatórios. Desta forma, o uso dessa argamassa pode acarretar em falhas nas juntas de assentamento, pois esses são ensaios relevantes frente às manifestações patológicas relacionadas à umidade, conforme visto no capítulo 3 e 4.

Em relação ao fabricante “C” observa-se que não atingiu os requisitos mínimos referentes ao ensaio de absorção de água.

Frente aos ensaios de envelhecimento o desempenho das amostras, no que diz respeito a alteração do ângulo de contato com a água (molhabilidade) foi similar para todas as marcas. Esse ensaio não mostrou variação expressiva entre as marcas apresentadas. O ângulo de contato só apresentou alteração nas amostras que ficaram expostas ao envelhecimento natural no CIENTEC, mas o resultado foi semelhante para todas as marcas.

Em relação ao ensaio de alteração cromática, Lopes (2015) indica que: alterações de cor total ( $\Delta E$ ) superiores à 1,5 são distinguíveis ao olho humano e acima de 3 são facilmente distinguíveis. Por isso, e de acordo com a Tabela 18, abaixo, verifica-se que a marca “C” apresenta variação média facilmente distinguível para

todos os locais em que os corpos de prova foram acondicionados. A argamassa da marca “A” apresenta variação distinguível somente quando submetida ao envelhecimento acelerado, e por fim o fabricante “B” apresenta variação classificada como distinguível e facilmente distinguível quando exposto à câmara de intemperismo (envelhecimento acelerado) e ao desgaste natural respectivamente.

Tabela 18 – Alteração total de cor média das amostras por local de acondicionamento

Local	Alteração total de cor ( $\Delta E$ )		
	A	B	C
<b>Câmara Climatizada</b>	0,70	0,73	6,11
<b>Câmara de intemperismo</b>	2,22	2,27	5,33
<b>CIENTEC</b>	0,70	3,13	5,06

Desta forma conclui-se que para as diferentes marcas de argamassas para rejuntamento branco externo existem sim diferenças que podem ser verificadas através de ensaios de caracterização e de envelhecimento, principalmente em relação à alteração cromática, permeabilidade e absorção de água.

Verificou-se através desses ensaios que duas das marcas (“A” e “C”) apresentaram desempenho insatisfatório frente a ensaios relevantes para seu desempenho, enquanto que a argamassa “B” mostrou-se, em quase todos os testes, com uma eficiência satisfatória, sendo a única que alcançou os requisitos mínimos da norma NBR 14992 (ABNT, 2003).

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a realização dos ensaios é possível verificar a relevância de alguns temas, que podem ser abordados em futuras pesquisas:

- Avaliação de argamassas para rejuntamento frente à ensaios de variação dimensional;



- Acompanhamento do envelhecimento das argamassas para rejuntamento em edificações após anos de uso através de ensaios de permeabilidade e alteração cromática;
- Avaliação do envelhecimento das argamassas para rejuntamento em comparação com a tradicional pasta de cimento branco;
- Avaliação da variação da temperatura de diferentes cores de argamassas para rejuntamento frente à exposição solar;
- Avaliação do ângulo de contato com a gota de água das argamassas para rejuntamento com auxílio de dispositivo de captura de vídeo, para captura mais precisa do momento de contato do líquido com a amostra.
- Comparação da permeabilidade e absorção das argamassas para rejuntamento à base cimentícia com às argamassas para rejuntamento poliméricas.

## 6 REFERÊNCIAS

ALVES, S. M. A. **Um contributo para a sistematização do conhecimento da patologia da construção**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. Ceramic Tiles grouts: specifications – A – 118.6. New York, ANSI, 1992.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **D4587**: Standard practice for fluorescent UV-condensation exposures of paint and related coatings. West Conshohocken, 2011.

\_\_\_\_\_**D7334**: Standard Practice for Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement. West Conshohocken, PA, 2008.

\_\_\_\_\_**C125**: Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates, West Conshohocken, PA, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755**: Revestimento de Paredes Externas e Fachadas Com Placas Cerâmicas e Com Utilização de Argamassa Colante - Procedimento— Requisitos. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_**NBR 13816**: Placas cerâmicas para revestimento - Terminologia. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_**NBR 14992**: A.R Argamassa à base de cimento Portland para rejuntamento de placas cerâmicas – Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_**NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho – Parte 1:Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_**NBR 15575-4**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 4:Requisitos para os sistemas de vedações - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_**NBR 6118**: Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_**NBR 15569**: Sistema de aquecimento solar em de água em circuito direto – projeto e instalação. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_**NBR 9779**: Argamassa e concreto endurecidos - determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

\_\_\_\_\_**NBR 7215**: Cimento Portland - determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_**NBR 13754**: Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_**NBR 5674:** Manutenção de edificações – procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_**NBR 14037:** Manual de operação, uso e manutenção das edificações - conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

BAUER, E. **Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos** – uma análise de desempenho. 168p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1987.

BAUER, E; BEZERRA, N. M.; CASTRO, E. K. Relatório técnico: n.º 07050058-b. Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; LEAL, F. E.; ALIVERT, M. Relatório técnico: n.º 10090300-c. Brasília, Laboratório de Ensaio de Materiais, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BRENNAN, P.; FEDOR, C. **Sunlight, UV and accelerated weathering. Paint and Resin**, v. 58, p. 17, 1988.

CAMPANTE, E. F.; BAÍA, L. L. M. **Projeto e execução de revestimento cerâmico**. São Paulo: O Nome da Rosa, 2003.

CARASEK, H. **Patologia das argamassas de revestimento**. Materiais de Construção e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. IBRACON, São Paulo, v. 1, 2007, p. 1-11.

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

CARNEIRO, A. M. P. **Revestimento externo em argamassa de cimento, cal e areia-sistemática das empresas de construção civil de Porto Alegre**. 136p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)0 Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1993.

CHEW, M. Y. L. **Maintainability of facilities**: for building professionals. 1. ed. Singapore: World Scientific, 2010.

CONSOLI, O. J. **Análise da durabilidade dos componentes de fachadas de edifícios, sob a ótica do projeto arquitetônico**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006, 208 p.

FALCÃO BAUER, Roberto José; RAGO, Fabiola. Influência da variação do índice de consistência nas propriedades das argamassas industrializadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: ANTAC, 1999. p. 85-94.

FIORITO, J.S.I. **Manual de argamassas e revestimentos**: estudos e procedimentos de execução. São Paulo, PINI, 1994.

FLAUZYNO, W. D.; UEMOTO, K. L. **Durabilidade de materiais e componentes das edificações**. São Paulo. p. 203-220. Simpósio Latino-Americano de Racionalização da Construção e sua Aplicação às Habitações de Interesse Social. 1981.

FONTENELLE, A M; MOURA, Y. M. **Revestimento cerâmico em fachadas: estudo das causas das patologias**. 2004. 70f. Relatório da pesquisa. Fortaleza, 2004.

FRANCO, A. L. C. **Revestimento cerâmicos de fachada**: composição, patologias e técnicas de aplicação. 80f. Monografia (especialização em engenharia civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2008.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Service life estimation of cement-rendered facades. **Building research & information**, v36, n. 1, p. 44-55, 2008.

GOLDBERG, R. P. Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades. Technical Design Manual. LATICRETE International, Inc. USA. 1998.

HUNTERLAB. **The basics of color perception and measurement**. 2015. Disponível em: <<http://www.hunterlab.com>>. Acesso em: 07/01/2018.

IOSHIMOTO, E. **Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo: PINI, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT, 1988, p. 545-548.

ISO/DIS 15686-2 - **Buildings - Service life planning** - Part 2: general principles. Switzerland, International Organization for Standardization, 2012.

ITC – INSTITUTO DE TECNOLOGIA CERAMICA. **Colocacion de Pavimentos y Revestimientos Ceramicos**. Ministerio de Industria y Energia. Direccion General de Minas y de la Construcción. Barcelona. Espanha, 1994.

JOHN, V. M.; SATO, N. M. N. **Durabilidade de componentes da construção**. Construção e meio ambiente. Coletânea Habitare, v. 7, p. 21-57, 2006.

JOHN, V. M. Avaliação da durabilidade de materiais, componentes e edifícios: cálculo do custo global. Florianópolis. p. 42-52. In: Simpósio de Desempenho de materiais e componentes de construção civil. 1988.

JUNGINGER, M. **Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis**. 2003.141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

KLEIN, D. L. Apostila do Curso de Patologia das Construções. Porto Alegre, 1999 - 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias. 1999.

LICHTENSTEIN, N.B. **Patologia das construções**: procedimento para formulação do diagnóstico de falhas e definição da conduta adequada à recuperação de edificações. São Paulo, 191p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1985.

LONGHI, M. A. **Revestimentos de argamassa industrializada sobre substrato de concreto estrutural**: análise do desempenho quando submetidos a envelhecimento acelerado. 2012. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012

LOPES, C. V. **Efeitos do intemperismo em argamassas de rejuntamento**. 2015. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2015.

LUZ, M. A. **Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada em três estudos de caso na cidade de Balneário Camboriú**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

MAGALHÃES, R. P. P. **Processo de manutenção técnica de edifícios**. 166f. Faculdade de Engenharia da Faculdade do Porto. mestrado em engenharia civil. 2008.

MALANHO, S. O. **Avaliação do desempenho de ETICS com acabamento de ladrilhos cerâmicos**. 2011. 120 f. Dissertação – Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Aveiro, 2011.

MEDEIROS, J.S.; SABBATINI, F.H. Estudos sobre a técnica executiva de revestimentos de argamassa sobre paredes de alvenaria. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON STRUCTURAL MASONRY FOR DEVELOPING COUNTRIES, **Proceedings**. Florianópolis, UFSC/University of Edinburgh/ANTAC, p.594-607. 1994.

MOURA, T. M. **Fiscalização e controle de execução de revestimento cerâmico**. 33f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2010.

PAES, I.N.L.; CARASEK, H. **Desempenho das argamassas de rejuntamento no sistema de revestimento cerâmico**. Revista Ambiente Construído, Porto Alegre, v.2, n.2, p.93-103, abr./jun. 2002.

PEREZ, A. R. Umidade nas edificações: recomendações para a prevenção da penetração de água pelas fachadas (1ª parte). In: **Tecnologia de edificações**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo: Pini, p. 571-578. 1988.

REBELO, C. R. **Projeto e execução de revestimento cerâmico interno**. 55f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais. 2010.

ROCHA-GOMES, L. V. **Estudo de métodos de ensaio e comportamento físico e mecânico de argamassas para rejuntamento**. 2008. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

ROSCOE, M. T. **Patologia em revestimento cerâmico em fachada**. 80f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais. 2008.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos**: formulação e aplicação de uma metodologia. São Paulo, 321p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 1989.

SANTOS, H. B. **Ensaio de aderência das argamassas de revestimento**. 50f. Monografia (Especialização em Engenharia Civil). Universidade de Minas Gerais, Minas Gerais. 2008.

SARAIVA, A. G. **Contribuição ao estudo de tensões de natureza térmica em sistemas de revestimento cerâmico de fachada**. 164p. Tese (Dissertação de Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília. 1998.

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

SILVA, M. N. B.; BAUER, E.; CASTRO, E. K. e ZANONI, V. A. G. **Distribuição de ocorrência de danos e patologias em fachadas de Brasília** – estudo de caso, I Simpósio de argamassas e soluções térmicas de revestimento, Argamassa 2014, Coimbra, Portugal, 2014.

SILVA, A; GASPAR P. L; BRITO, J. **Stochastic, deterministic, statistical and artificial intelligence based models to predict the service life of rendered facades**, XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components, XIII DBMC, São Paulo, Brasil, 2014.

SILVESTRE, J.D.; BRITO, J. **Ceramic tiling in building façades: Inspection and pathological characterization using an expert system**. Construction and Building Materials 25, 2011, 1560–1571.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1 ed. São Paulo: PINI/EPUSP/IPT, 1989.

TOLEDO, L. B. F. **Patologia em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios- estudo regionalizado para a cidade de divinópolis** – Minas Gerais. 2007. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

TRISTÃO, F. A. **Influência da composição granulométrica da areia nas propriedades das argamassas de revestimento**. 1995. 218 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

VALIATI, V. G. **Estudo da estanqueidade de rejuntas em revestimentos externos**. 2009. 108f. Trabalho de diplomação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre, SAGRA, 1991.

VIEIRA, A. D. **Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro de Porto Alegre**:

estudo de caso. 2005. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

## **ANEXO A**



## Resistencia à compressão das argamassas

Os resultados da Tabela 19, resistência à compressão aos 28 dias, foram usados como referência para o ensaio de módulo de deformação.

Tabela 19 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão das argamassas aos 28 dias

	<b>Amostra</b>	<b>Resistência (MPa)</b>	<b>Desvio relativo máximo (%)</b>
<b>Fabricante A</b>	<b>1</b>	13,19	1,7
	<b>2</b>	13,11	
	<b>3</b>	13,25	
	<b>4</b>	13,48	
	<b>Média</b>	13,25	
<b>Fabricante B</b>	<b>1</b>	16,53	3,45
	<b>2</b>	16,78	
	<b>3</b>	17,51	
	<b>4</b>	16,88	
	<b>Média</b>	16,92	

## **ANEXO B**

## Leitura dos valores individuais das argamassas no espectrofotômetro

O espectrofotômetro apresentou as variáveis conforme a Tabela 20, essas variáveis foram usadas no cálculo dos parâmetros de comparação da alteração cromática no capítulo de resultados.

Tabela 20 – Parâmetros de cor do sistema CIELAB dos cp's ensaiados

Marca	Amostra	Leitura de referência			Leitura final		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Marca A	1	92,69	-0,16	6,84	93,30	0,15	3,86
		92,94	-0,23	7,33	92,78	0,14	4,00
		92,40	-0,39	8,83	93,14	-0,19	4,27
	2	93,00	-0,01	6,05	92,67	0,27	4,23
		93,26	0,04	5,71	93,35	0,24	4,00
		93,40	-0,07	5,88	92,80	0,30	4,47
	3	92,99	-0,09	6,21	92,72	0,19	4,29
		92,49	0,01	6,01	93,01	0,09	4,37
		92,70	-0,03	7,02	93,30	0,06	3,58
	4	92,28	0,07	6,04	91,90	0,23	4,44
		93,12	-0,10	6,34	92,63	0,13	4,48
		93,08	-0,06	6,33	92,93	0,12	4,49
	5	92,40	0,21	6,40	92,57	0,28	6,17
		93,18	0,12	5,59	92,81	0,14	5,83
		93,22	0,02	5,79	93,05	0,00	5,62
	6	90,71	0,17	8,39	92,00	0,14	6,66
		92,80	-0,38	7,99	92,76	-0,02	7,54
		92,78	-0,26	7,44	93,49	-0,14	5,97
	7	92,64	-0,25	7,40	92,58	-0,19	7,27
		93,12	-0,09	6,26	93,38	-0,04	5,83
		93,35	0,00	5,57	93,39	0,12	5,50
	8	92,66	-0,28	7,20	92,76	-0,06	6,53
		92,75	-0,27	7,32	92,72	-0,08	6,67
		92,95	-0,11	6,65	91,59	-0,58	4,37
	9	92,72	0,07	6,24	90,57	0,72	5,21
		93,29	0,12	5,60	91,20	0,65	5,04
		92,75	0,18	6,00	91,25	0,66	4,85
	10	92,13	0,14	6,88	89,67	0,44	4,44
		91,10	0,26	7,13	89,68	0,73	5,32
		91,72	0,06	6,89	90,17	0,24	4,06
11	92,73	0,08	6,03	91,19	0,64	4,56	
	91,96	0,20	6,48	89,78	0,73	4,99	
	92,27	0,12	6,80	91,00	0,65	4,72	
12	92,75	0,07	6,41	90,84	0,63	4,57	

	92,82	0,11	6,16	90,45	0,70	4,95
	92,04	0,16	6,30	91,16	0,63	4,63

Marca	Amostra	Leitura de referência			Leitura final		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Marca B	1	90,27	-0,39	7,10	90,80	0,02	5,40
		90,91	-0,22	6,72	91,87	-0,13	4,50
		91,11	-0,47	6,75	91,09	-0,09	4,84
	2	90,32	-0,41	7,25	90,45	0,09	6,37
		89,39	-0,19	7,08	91,03	-0,15	4,69
		90,29	-0,30	7,72	90,90	-0,10	4,91
	3	89,93	-0,23	6,97	90,34	-0,12	4,44
		91,00	-0,16	6,00	90,09	0,12	5,10
		90,26	-0,19	7,25	91,32	-0,15	4,88
	4	90,64	-0,29	6,54	90,97	0,01	4,94
		90,80	-0,33	6,83	90,27	-0,10	4,79
		91,11	-0,59	6,82	90,05	-0,19	6,34
	5	90,85	-0,53	6,62	91,68	0,35	3,85
		90,21	-0,25	6,65	90,80	0,46	4,16
		88,76	-0,20	7,41	90,89	0,43	4,31
	6	90,14	-0,28	7,57	90,80	0,46	4,42
		88,84	-0,23	7,74	90,67	0,45	4,52
		90,83	-0,19	6,40	90,03	0,40	4,70
	7	89,45	-0,15	7,30	90,22	0,43	4,69
		90,27	-0,35	7,77	90,52	0,35	4,69
		89,35	-0,21	8,67	88,46	0,23	3,88
	8	90,93	-0,30	6,64	91,18	0,42	4,09
		90,44	-0,41	7,36	90,31	0,48	4,49
		90,52	-0,30	7,37	91,32	0,39	4,06
	9	89,41	-0,25	8,08	90,23	-0,16	7,41
		88,69	-0,13	7,59	90,32	-0,08	7,26
		90,16	-0,22	7,44	90,79	-0,15	6,62
	10	90,12	-0,32	7,54	90,42	-0,31	7,30
		89,99	-0,33	7,83	90,48	-0,34	7,35
		89,91	-0,38	8,53	90,44	-0,32	7,22
	11	90,45	-0,35	7,59	90,30	-0,35	7,51
		89,48	-0,31	8,07	89,87	-0,20	7,55
		90,28	-0,38	7,82	90,43	-0,27	7,20
	12	90,39	-0,21	6,53	90,84	-0,13	6,25
		90,41	-0,14	6,80	90,19	-0,17	6,84
		89,02	-0,12	8,45	90,41	-0,25	7,19

Marca	Amostra	Leitura de referência			Leitura final		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
Marca C	1	91,76	-0,03	6,08	92,72	-0,08	4,35
		92,72	-0,22	5,61	92,08	-0,08	5,19
		92,37	-0,20	5,90	91,43	0,09	5,64
	2	89,63	0,53	8,60	91,11	0,13	5,33
		88,66	0,70	8,50	90,25	0,23	6,44
		89,42	0,52	8,20	91,55	0,05	4,91
	3	92,11	-0,16	5,83	91,54	0,00	5,02
		91,88	-0,19	7,30	91,17	-0,11	6,09
		91,87	-0,22	5,87	92,47	-0,10	4,89
	4	93,10	-0,18	4,98	92,09	0,02	4,55
		92,31	-0,20	5,65	92,07	-0,05	4,77
		91,44	-0,17	5,95	91,65	0,09	4,57
	5	92,29	-0,05	5,81	91,30	0,46	4,79
		91,46	-0,16	6,00	89,55	0,67	5,53
		89,88	0,34	6,74	89,25	0,66	6,25
	6	91,93	-0,12	6,18	90,99	0,47	5,16
		92,24	-0,28	6,22	90,71	0,51	4,66
		91,68	-0,16	5,94	89,04	0,64	4,86
	7	90,23	0,03	6,79	90,89	0,47	4,57
		92,36	-0,04	5,71	91,34	0,46	4,31
		92,56	-0,20	6,04	91,22	0,47	4,45
	8	92,42	-0,20	5,67	91,15	0,52	4,39
		90,29	-0,11	6,03	90,74	0,54	4,45
		92,85	-0,20	5,45	91,16	0,47	4,57
	9	90,94	-0,03	6,75	91,62	0,00	6,39
		90,89	0,05	7,23	91,33	-0,06	6,47
		90,91	0,21	7,00	90,64	0,21	6,85
	10	92,59	-0,35	5,72	92,49	-0,30	5,74
		92,70	-0,15	4,90	92,12	-0,01	4,91
		91,76	-0,15	6,23	92,16	-0,13	5,73
	11	91,84	-0,13	5,67	92,32	-0,07	5,41
		90,35	-0,07	5,74	91,92	-0,05	5,94
		92,12	-0,21	6,24	92,17	-0,21	5,85
	12	92,06	-0,20	5,87	90,79	0,04	6,27
		91,18	-0,24	6,53	91,56	-0,20	6,31
		90,68	-0,15	8,06	90,90	-0,21	7,20