

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS, ENGENHARIAS E
TECNOLOGIA - UNACET
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS - PPGCEM**

SIMONE CAMPOS BITENCOURT DA SILVA

**ESTUDO DA DEGRADAÇÃO ACELERADA DA ARGAMASSA
EM UM SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO DE
FACHADAS**

Dissertação de Mestrado - DM
apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Ciência e Engenharia de
Materiais da Universidade do Extremo
Sul Catarinense - UNESC, como
requisito à obtenção do título de
Mestre em Ciência e Engenharia de
Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Elídio Angioletto
Co-orientador: Prof. Dr. Fernando
Pelisser

**CRICIÚMA
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S586e Silva, Simone Campo Bitencourt da.

Estudo da degradação acelerada da argamassa em um sistema de revestimento cerâmico de fachadas / Simone Campo Bitencourt da Silva ; orientador: Elídio Angioletto, co-orientador: Fernando Pelisser. – Criciúma, SC : Ed. do Autor, 2014.

129 p. : il. ; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, SC, 2014.

1. Revestimento cerâmico de fachada. 2. Argamassa – Degradação. 3. Argamassa colante – Análise. I. Título.

CDD. 22ª ed. 620.135

Simone Campos Bitencourt da Silva

Estudo da degradação acelerada da argamassa em um sistema de revestimento cerâmico de fachadas.

Esta dissertação foi julgada adequada à obtenção do grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Criciúma, SC, 13 de maio de 2014.

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Oscar Rubem Klegues Montedo
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Dr. Adriano Michael Bernardin
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Dr. João Batista Rodrigues Neto
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais esta oportunidade.

À minha família, pelo apoio e compreensão.

À minha mãe, pelo amor e motivação.

Ao meu esposo, por acreditar e incentivar-me a vencer mais este desafio.

Meus agradecimentos especiais ao meu orientador professor Dr. Elídio Angioletto, pelos ensinamentos, pela paciência e persistência na construção deste trabalho.

Agradeço também ao meu co-orientador Professor Dr. Fernando Pelisser pelo apoio e contribuições durante toda a realização do trabalho.

Agradeço ao apoio do Professor Dr. Marcio Roberto da Rocha na construção da Câmara de Envelhecimento Acelerado.

Aos profissionais do LMCC pelo auxílio na preparação de amostras e ensaios.

Aos membros da banca examinadora por aceitarem o convite.

A UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense pela disponibilização de recursos e estrutura para a realização do estudo.

Ao SENAI por oportunizar a participação no programa de pós-graduação e investir no meu desenvolvimento.

Aos colegas do SENAI pelo auxílio na realização de ensaios complementares ao estudo.

A todos os professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais (PPGCEM) pela amizade e compartilhamento de conhecimento durante o curso.

RESUMO

A aplicação de revestimento cerâmico e argamassa como componentes do sistema de revestimento de fachada são amplamente empregados no Brasil. Porém, estudos relacionados ao desempenho dos componentes da fachada como sistema e metodologias de ensaios laboratoriais para avaliar sua degradação e definição da previsibilidade de vida útil ainda são escassos em território nacional. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo estudar a degradação acelerada da argamassa em um sistema de revestimento cerâmico de fachada, avaliando requisitos quantitativos e qualitativos de resistência a aderência em amostras submetidas à condições saturadas de umidade e variação de temperatura. Para isso utilizou-se uma máquina de envelhecimento acelerado desenvolvida junto ao PPGCEM/ UNESC, para o ensaio de amostras preparadas com materiais comerciais e padronizados. Três tipos de argamassas que se diferenciavam pela concentração do polímero PVA, foram avaliadas em conjunto com o revestimento cerâmico do grupo de absorção BIIb, aplicados em um substrato padrão ABCP. Os corpos de prova foram submetidos a quatro tempos de exposição aos ciclos que alternavam a umidade e a variação de temperatura a cada 65 minutos, simulando o tempo de 18 anos de uso do sistema de fachada em uma obra. A resposta obtida foi à resistência à aderência medida com dinamômetro digital. Por meio dos resultados observados, constatou-se que ambas as variáveis: tipo de argamassa e tempo de exposição foram significativas em relação ao desempenho da aderência do sistema de revestimento cerâmico de fachada e que somente a argamassa com concentração de 7% de PVA apresentou resultado de tensão de aderência médio de 0,7 MPA, classificada como adequada para aplicação em fachadas externas.

Palavras-chave: Fachada. Desempenho. Revestimento cerâmico. Argamassa colante.

ABSTRACT

The application of ceramic tiles and mortar as components of the exterior cladding system are widely used in Brazil. However, related studies about performance components of the façade as a system and methods for laboratory tests to evaluate their degradation and definition of predictability of life are still scarce in Brazil. Thus, the present work aims to study the accelerated degradation of the mortar in a system of ceramic façade cladding, evaluating quantitative and qualitative requirements for resistance to adhesion on samples submitted to saturated humidity and temperature variation. For this we used a machine of accelerated aging developed by PPGCEM / UNESC, for testing samples prepared with standardized materials and commercial. Three types of mortar, which differed by the concentration of PVA polymer were evaluated together with the ceramic coating BIIb group absorption, applied on a standard substrate of ABCP. The specimens were subjected to four times of exposure to cycles that alternated humidity and temperature variation every 65 minutes time simulating 18 years of use of the façade system of a building. The answer was obtained resistance to adherence measured with digital dynamometer. Through the observed results, it was found that both variables: type of mortar and exposure time were significant in relation to the performance of adherence of the ceramic façade cladding system and that only the mortar with concentration of 7% PVA presented results average of 0.7 MPA adherence tension, classified as suitable for use in external façades.

Keywords: Façade. Performance. Ceramic Coating. Adhesive Mortar.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Painel de Azulejos - Convento de São Francisco da Bahia.....	27
Figura 2 - Materiais e camadas constituintes mostrando os principais componentes do revestimento cerâmico de fachada.....	27
Figura 3 - Porosidade aberta (à esquerda) e porosidade fechada (à direita).....	30
Figura 4 - Efeito da condição de exposição e do teor de polímero na resistência de aderência entre argamassa e placa cerâmica.....	36
Figura 5 - Instalação de tensões no sistema de revestimento cerâmico devido à diminuição uniforme da temperatura.....	40
Figura 6 - Instalação de tensões no sistema de revestimento cerâmico devido ao aumento uniforme da temperatura.....	40
Figura 7 - Exemplos de descolamento.....	43
Figura 8 - Recuperação do desempenho por ações de manutenção.....	46
Figura 9 - Amostras no interior da câmara de envelhecimento acelerado.....	72
Figura 10 - Representação esquemática do corpo de prova para o experimento.....	73
Figura 11 - Esquema dos apoios do aparelho de tração sobre a superfície da amostra.....	73
Figura 12 - Fotografia de corpo de prova do tipo argamassa com 5% PVA e tempo de exposição 0.....	77
Figura 13 - Equipamento para teste de degradação acelerada – vista A.....	79
Figura 14 - Equipamento para teste de degradação acelerada – vista B.....	79
Figura 15 - Localização dos termopares durante teste de degradação acelerada (vista lateral da amostra).....	80
Figura 16 - Ciclo de chuva e resfriamento – programado.....	83
Figura 17 - Aparelho de medição da resistência à tração.....	87
Figura 18 - Pastilha metálica cilíndrica aplicada com cola de alta resistência.....	87
Figura 19 - Ajuste do equipamento no início do ensaio de arrancamento.....	87
Figura 20 - Resultados de resistência de aderência – médio e faixa de variação do resultado.....	90
Figura 21 - Valores de tensão de aderência alcançados nas amostras.....	90

Figura 22 - Exemplos de rupturas ocorridas nas amostras.....	92
Figura 23 - Micrografias das amostras.....	94
Figura 23 - Micrografias das amostras - continuação.....	95
Figura 23 - Micrografias das amostras – continuação.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Natureza dos agentes de degradação ISO 15686 - 2.....	45
Tabela 2 - Vida útil de projeto (VUP).....	65
Tabela 3 - Enquadramento Normativo.....	67
Tabela 3 - Enquadramento Normativo - continuação.....	68
Tabela 4 - Variáveis do Experimento.....	70
Tabela 5 - Matriz Planejamento.....	70
Tabela 6 - Características fundamentais das argamassas colantes.....	74
Tabela 7 - Grupos de absorção de água de placas cerâmicas.....	74
Tabela 8 - Características físicas do revestimento cerâmico comercial aplicado na amostra.....	75
Tabela 9 - Tipos de ruptura (Adaptada da ABNT NBR 14081-4).....	84
Tabela 10 – Coeficientes de expansão térmica linear dos materiais da amostra.....	93
Tabela 11 - ANOVA (Análise de Variância).....	113
Tabela 12 - Teste T.....	114
Tabela 12 - Teste T - continuação.....	115
Tabela 12 - Teste T - continuação.....	116
Tabela 12 - Teste T - continuação.....	117
Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa.....	119
Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa - continuação.....	120
Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa - continuação.....	121
Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa - continuação.....	122
Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa - continuação.....	123
Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa - continuação.....	124
Tabela 14 - Resultados do Estudo de Secagem.....	125

LISTA DE SIGLAS

ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT NBR - Associação Brasileira de Normas Técnicas Norma Brasileira

ANFACER - Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres

APICER - Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica

ASTM - American Society for Testing and Materials

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

EDS - Espectrômetro de Dispersão de Energia

EN - Norma Européia

EOTA - European Organization for Technical Assessment

HEC - Hidroxietyl Celulose

IDT - Instituto de Engenharia e Tecnologia (UNESC)

ISO - International Standard Organization

LMCC - Laboratório de Materiais de Construção Civil e Estruturas (UNESC)

MEV - Microscópio Eletrônico de Varredura

PPGCEM - Programa de Pós - Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais

PVA - Acetato de Polivinila

RCF - Revestimento Cerâmico de Fachada

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Nacional

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense

UV - Radiação Ultravioleta

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
2 OBJETIVO	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
3.1 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS	25
3.2 REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE FACHADA	26
3.3 ARGAMASSAS COLANTES.....	31
3.4 INFLUÊNCIAS DA ARGAMASSA COLANTE E DO MATERIAL DE REVESTIMENTO NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA.....	33
3.4.1 Influência da adição de polímeros no desempenho da argamassa.....	34
3.5 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA VERSUS TEMPERATURA	37
3.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	41
3.6.1 Descolamentos.....	42
3.7 CONCEITO DE DURABILIDADE E SUA APLICAÇÃO AO RCFS	44
3.7.1 Mecanismos de avaliação da degradação	45
3.8 MÉTODOS DE ESTUDO DE ENVELHECIMENTO	47
3.8.1 Ensaio de envelhecimento acelerado	47
3.8.2 Envelhecimento natural.....	48
3.8.3 Envelhecimento em uso.....	48
3.9 METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS EM ESTUDOS ANTERIORES	49
3.10 NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS AO TEMA	63
3.10.1 Normas de desempenho	63
3.10.2 Enquadramento normativo	66
4 METODOLOGIA	69
4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	69
4.2 ENSAIOS DE DEGRADAÇÃO ACELERADA.....	71
4.2.1 Estrutura do ensaio	71
4.2.2 Preparação dos corpos de prova	75

4.2.2.1 Condicionamento dos materiais	75
4.2.2.2 Preparação da argamassa	75
4.2.2.3 Aplicação da argamassa e colagem dos revestimentos	77
4.2.2.4 Condições de Cura	78
4.2.2.5 Definição dos ensaios	78
4.3 ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO ACELERADO	78
4.3.1 Aparelhos e utensílios	78
4.3.2 Procedimento de ensaio	81
4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO / ARRANCAMENTO	82
4.4.1 Enquadramento normativo	85
4.4.2 Aparelhos e utensílios	85
4.4.3 Procedimento de ensaio	85
4.5 CARACTERIZAÇÕES FÍSICA E MICROESTRUTURAL	86
4.5.1 Análise de dilatação térmica	86
4.5.2 Análise microestrutural	88
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	89
5.1 ENSAIOS DE DEGRADAÇÃO ACELERADA	89
5.2 ANÁLISE DE DILATOMETRIA	93
5.3 ANÁLISE MICROESTRUTURAL	94
5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
6 CONCLUSÃO	99
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	101
8 REFERÊNCIAS	103
APÊNDICE(S)	111
APÊNDICE A – Avaliação estatística	113
APÊNDICE B – Resultados de tensão de aderência da argamassa	119
APÊNDICE C - Resultados do estudo de secagem.....	125
ANEXO(S)	127
ANEXO A - Especificação de produtos.....	129

1 INTRODUÇÃO

O uso de produtos cerâmicos ocupa importante posição no mercado da construção civil, e o Brasil é um dos maiores produtores mundiais, com uma produção de 871,1 milhões de m² no ano de 2013. O Brasil apresentou um consumo no território nacional de 837,5 milhões de m² neste respectivo ano (ANFACER, 2014).

Dentro desse vasto universo do mundo cerâmico podemos encontrar as cerâmicas aplicadas no revestimento de fachadas.

Os revestimentos cerâmicos de fachada são definidos como: “conjunto monolítico de camadas, aderidas à base suportante da fachada do edifício, cujo exterior é constituída de placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo (Medeiros, 1999)”.

Este sistema de revestimento de fachada, de acordo com Campante e Sabbatini (2001) é utilizado amplamente em obras de pequeno e grande porte, devido as suas características de elevada resistência as mais variadas condições ambientais, bem como, ao seu baixo desgaste ao longo do tempo. Segundo Campante e Sabbatini (2001), a capacidade do revestimento cerâmico permanecer inalterado ao longo do tempo, associada a outras como: facilidade de compor padrões geométricos, limpabilidade, boa resistência à umidade, desempenho geral satisfatório e baixo custo de manutenção, são as principais razões para o uso deste tipo de material em fachadas de edifícios.

Contudo, apesar do grande desenvolvimento da indústria cerâmica e dos processos de fixação dos revestimentos cerâmicos, os problemas relacionados com o seu destacamento são hoje uma patologia grave e frequente, registrada nos primeiros anos de utilização, ou ainda após longos períodos de desempenho adequado. O desempenho dos componentes que constituem o sistema de revestimento cerâmico de fachada, em particular a argamassa é normalmente avaliado no momento da aplicação. O conhecimento inicial é fundamental para a sua classificação e uso.

As patologias identificadas nos materiais do revestimento cerâmico de fachada desenvolvem-se por causa dos materiais estarem sujeitos às variações de temperatura e umidade, entre outros fatores degradantes como a radiação, especialmente quando aplicados em fachadas externas. A resposta destes materiais a estes agentes de degradação é denunciada pela perda de desempenho de algumas de suas características fundamentais, ou seja, pelo seu envelhecimento e por fim sua degradação.

Recentemente, com a publicação das normas de desempenho para edificações, a cobrança pelo adequado uso de materiais e pela adequada performance dos sistemas construídos torna o mercado mais exigente e criterioso na aquisição de uma obra civil e a responsabilidade pelo desempenho é compartilhada entre todas as partes interessadas (construtores, fabricantes de materiais, projetistas, consumidores, etc.).

Entretanto, a diversidade de placas cerâmicas e dos demais elementos construtivos existentes no mercado constituem diferentes sistemas de revestimento cerâmico de fachada, por sua vez, resultam em diferentes propriedades das argamassas a eles aderidas. O uso de produtos cerâmicos de baixa absorção de água no sistema de revestimento de fachada, como é o caso do porcelanato e do semi-gres, ampliam as preocupações em relação à durabilidade do sistema cerâmico. Sabe-se que há queda do desempenho mecânico e aderência de argamassas modificadas com polímeros quando em maior grau de saturação, sobretudo quando empregadas com revestimentos de baixa absorção de água (JENNI, 2003). Esse feito é explicado porque a absorção de água do porcelanato é praticamente nula e a do semi gres alcança no máximo de 3%. E desta forma, a pasta de cimento da argamassa não é succionada para dentro dos capilares superficiais, ocorrendo um acúmulo de água na interface, constituindo uma fina película, por efeito parede (JENNI, 2003). Com a secagem, há formação de filme polimérico nessa interface (HEROLD, 2000), o que garante a aderência do sistema.

Entretanto faltam métodos objetivos capazes de avaliar o desempenho de componentes e/ou materiais ao longo de sua vida útil. A durabilidade dos materiais aplicados na construção é um parâmetro fundamental para a classificação e medida da qualidade da mesma (SÁ, 2005).

Dessa forma, a busca da qualidade de uma edificação e em particular da qualidade dos seus elementos e componentes torna imperativo o desenvolvimento de métodos de avaliação da durabilidade dos materiais mais utilizados e cuja degradação interfira tão significativamente na segurança dos consumidores em geral.

Dentro deste contexto, a principal motivação desta pesquisa foi avaliar a degradação da argamassa de um sistema de revestimento cerâmico, objetivando aplicar uma metodologia de teste executável em laboratório, que permita fornecer informações de desempenho dos materiais aplicados em conjunto e com este resultado fornecer subsídios para avaliar o atendimento aos requisitos da norma de desempenho, principalmente na

previsibilidade de vida útil da fachada e na seleção de materiais mais apropriados para a condição de exposição da fachada.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa foi estudar a degradação acelerada da argamassa em um sistema de revestimento cerâmico composto de placa cerâmica, argamassa e base.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos foram:

- desenvolver metodologia para qualificar e quantificar a resistência à variação de temperatura e umidade;
- avaliar a concentração de polímero na argamassa frente à resistência de aderência;
- realizar a avaliação microestrutural da argamassa;
- avaliar o tempo de exposição do conjunto (substrato, argamassa e placa) às condições provocadas pela variação de temperatura e umidade.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS

Portugal, apesar de não ser grande produtor de revestimentos cerâmicos, foi o país europeu que, a partir do século XVI, mais aplicou o revestimento cerâmico em seus prédios. Esse gosto pela cerâmica, segundo descrito por Silveira (2013), surgiu a partir de suas navegações iniciadas no século XV, quando estabeleceu contato com outras civilizações, unindo as suas manifestações artísticas com vários desses países, como a de origem mulçumana, herdeira das tradições orientais, assírias, persas, egípcias, chinesas.

Já no século XV, palácios reais tiveram seu interior revestidos com azulejos. Segundo Silveira (2013), foi a partir do século XVI, com uma produção regular de revestimento cerâmico no país, que sua aplicação se tornou frequente em igrejas, conventos e em palácios nobres da alta burguesia. Entretanto esta aplicação abrangia somente os interiores, na forma de tapetes ou de forma mais ornamental. As aplicações na parte externa restringiam-se a cobertura de pináculos e cúpulas das igrejas por ser um material de elevado custo (SILVEIRA, 2013). Em relação ao desempenho do sistema de revestimento cerâmico aplicado em fachadas naquele período estava relacionado a porosidade elevada do material, caracterizado por materiais cerâmicos com absorção alta, aplicados com argamassa a base de cal, barro e gesso.

De acordo com Amaral (2013), a aplicação de azulejo na arquitetura brasileira surgiu como revestimento de barras decorativas e posteriormente em fachadas inteiras. Esta forma de aplicação foi uma herança vinda de Portugal e sua aplicação demonstra a influência na arquitetura.

Segundo estudo de Amaral (2013), na primeira metade do século XVII este tipo de revestimento foi bastante aplicado na decoração arquitetônica do Brasil Colônia, independente das dificuldades de transporte e dos elevados preços do material. Como não existia produção nacional deste material, todos os azulejos empregados eram importados de Portugal.

Silveira (2013) descreve que no século XVIII, o Marquês de Pombal, enquanto Primeiro Ministro de D. João VI, em Portugal, estabelece um projeto de industrialização manufatureira no país. Segundo o respectivo autor, é implementada a Fábrica de “Loiça do Rato”, que simplificava os

padrões dos azulejos com o intuito de aumentar a produção (SILVEIRA, 2013).

Conforme Silveira (2013), com isso, o custo do produto diminuiu significativamente, sendo acessível a um público maior. Com essa mudança, a aplicação do revestimento cerâmico ampliou-se aos espaços intermediários entre interior e exterior, como na cobertura de alpendres, pátios, claustros, também decorando os jardins no revestimento de bancos ou chafarizes.

Conforme Silveira (2013), o florescimento do revestimento cerâmico no Brasil se deve à sua dependência cultural, econômica e política com Portugal, ocorrida até o século XIX.

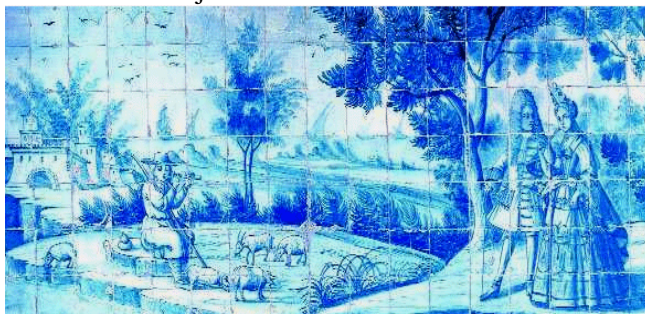
De início, as fachadas eram revestidas com cerâmica por motivos climáticos, devido ao seu comportamento térmico e à durabilidade. Silveira (2013) descreveu que juntamente com a conservação oferecida por este material, as pessoas descobriram a beleza proporcionada por ele e sua aplicação se disseminou pelo país principalmente no norte, nordeste e Rio de Janeiro.

O Brasil, hoje, é um grande produtor de revestimento cerâmico. A diversidade e o aprimoramento da qualidade destes produtos melhoram a cada dia. E na mesma proporção aumenta a aplicação da cerâmica no Brasil para cobrir pisos e paredes de espaços externos e internos. Exemplo disso são as fachadas dos edifícios que não se intimidam em apresentar-se revestidas por cerâmicas de tipos e formatos variados, lisas ou não, coloridas ou não (SILVEIRA, 2013), como o exemplo apresentado na figura 1.

3.2 REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE FACHADA

De acordo com Groff (2011), os revestimentos cerâmicos de fachada tem preferência do mercado consumidor por apresentar inúmeras vantagens em relação aos demais materiais de revestimentos tradicionais. Entre suas vantagens estão: durabilidade, valorização estética, facilidade na limpeza, pouca manutenção, melhoria de estanqueidade da vedação, maior conforto térmico e acústico e valorização econômica do imóvel. No entanto, apesar de serem amplamente utilizados, esse tipo de revestimento ainda necessita de desenvolvimento tecnológico, principalmente no que se refere a produção de fachadas, pela ocorrência de inúmeras incidências de manifestações patológicas (MEDEIROS; SABATINI, 1999).

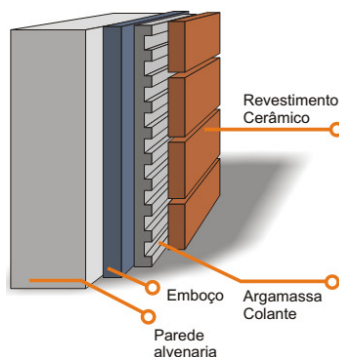
Figura 1 - Painel de Azulejos - Convento de São Francisco da Bahia.



Fonte: Silveira, 2013.

Como principais componentes deste conjunto, temos: camada de regularização, camada de fixação, as peças cerâmicas e as juntas (BARROS; SABBATINI, 1997). A figura 2 ilustra os materiais e camadas constituintes do sistema de revestimento cerâmico de fachada.

Figura 2 - Materiais e camadas constituintes mostrando os principais componentes do revestimento cerâmico de fachada.



Fonte: Pamesa, 2014.

De acordo com estudos de Groff (2011), a camada de fixação tem o objetivo de permitir a aderência das placas ao substrato. O material mais aplicado na fixação das placas cerâmicas é a argamassa colante, produto industrializado composto por uma argamassa pré-dosada no estado seco e fornecida embalada. Suas principais qualidades em relação aos outros produtos de fixação são a maior produtividade e simplicidade na aplicação,

promovem melhor resistência de aderência e sua retração não gera tensões prejudiciais na camada fina do revestimento, quando aplicadas corretamente (BARROS; SABBATINI, 1997).

Groff (2011) destaca que outro componente importante no sistema de revestimentos cerâmicos de fachadas são as juntas, que podem ser juntas entre componentes e juntas de trabalho. As juntas entre componentes são denominados de juntas de assentamento e são executadas durante a etapa de assentamento das cerâmicas, por meio do espaçamento das peças.

De acordo com Barros e Sabbatini (1997), essas juntas têm como função:

- “a) reduzir o módulo de deformação do plano de revestimento e, por consequência, aumentar a capacidade deste de absorver deformações intrínsecas, provocadas pelas variações térmicas e higroscópicas e deformações de amplitude normal das bases;
- b) absorver as variações dimensionais dos componentes cerâmicos; e
- c) permitir harmonizações estéticas que valorizem o conjunto”.

As juntas de trabalho, denominadas como juntas de movimentação, destinam-se a reduzir as tensões induzidas pelas deformações do próprio revestimento adicionadas às deformações da base, promovendo, assim, o não aparecimento de fissuras e descolamentos que influenciem o desempenho e a integridade do sistema de revestimento cerâmico de fachada (BARROS; SABBATINI, 1997).

As placas cerâmicas devem atender condições de acordo com a ABNT NBR 13755 (ABNT, 1996), que são as seguintes:

- a) ser apropriado para revestimentos externos e fachadas;
- b) estar seco por ocasião do seu assentamento;
- c) seu tardoze deve estar isento de pó, engobes pulverulentos ou partículas que impeçam a sua boa aderência à argamassa colante;
- d) a codificação (número e/ou modelo) do produto deve estar de acordo com o que foi especificado;
- e) o código da tonalidade deve ser idêntico para utilização em uma mesma fachada;
- f) estar conforme a classificação indicada na embalagem.

Vale destacar que algumas características influenciam no desempenho da placa cerâmica, como:

a) Tipo de porosidade

O processo de fabricação dos materiais cerâmicos geram estruturas com vazios, ou seja, os poros. Estes poros são necessários quando se necessita fixar as placas com argamassa por aderência mecânica; mas por adesão química, os poros não são desejados, pois interferem na eficiência (SOUZA, 2010).

Para Souza (2010), os materiais de construção têm características de absorção de água e porosidade bastante distintas em função do diâmetro e distribuição dos canais capilares, da porosidade do material e do tipo de poro presente. Os poros em contato com o exterior podem levar elementos externos para o interior da estrutura. Esses espaços interligados são vazios que podem absorver água e denomina-se de porosidade aberta, enquanto que, os poros não interligados com a superfície, e possuem como vazios impermeáveis são denominados fechados, conforme representado na figura 3.

b) Absorção de água

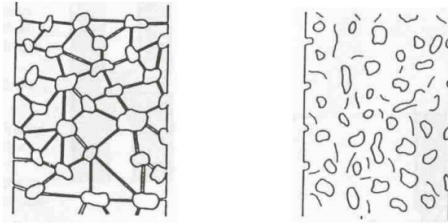
Souza (2010) descreve que o material quando em contato com líquidos tende a absorvê-los por meio do processo chamado capilaridade. Com a absorção de água é possível estimar a estrutura do material, permitindo avaliar algumas propriedades do mesmo. Conforme Abitante (1996), “esta é considerada uma das principais propriedades dos elementos cerâmicos na medida em que fornece uma indicação da estrutura do material: absorção elevada à estrutura porosa e absorção baixa a estrutura compacta”.

c) Variação térmica

Os componentes da construção civil estão sujeitos a variações térmicas diárias e sazonais, que provocam sua variação dimensional (GRANATO, 2012).

Os movimentos de dilatação e contração são limitados pelas várias ligações que envolvem os materiais, resultando em tensões que podem gerar descolamentos, trincas ou fissuras.

Figura 3 - Porosidade aberta (à esquerda) e porosidade fechada (à direita).



Fonte: Associação Brasileira da Construção Industrializada, 1989 apud Souza, 2010.

Segundo Granato (2012), as movimentações térmicas de um material estão ligadas com as suas propriedades físicas e com a intensidade das variações da temperatura.

O tamanho das tensões geradas está ligado à intensidade de movimentação, ao grau de restrição imposta pelas ligações dos materiais e à capacidade de deformação do material.

As trincas, fissuras ou o descolamento dos revestimentos de origem térmica podem surgir também por movimentações diferenciadas entre: distintos materiais, componentes de um mesmo material ou distintas partes de um mesmo material (GRANATO, 2012).

Nas condições normais, a principal fonte de calor que atua sobre os componentes de uma construção é o sol. Segundo Granato (2012), a amplitude e variação térmica de um material estão ligadas à intensidade da radiação, que pode ser direta ou difusa, bem como com propriedades do material, como: absorvância, emitância, condutância térmica superficial, calor específico, massa específica e condutividade térmica.

Para Granato (2012), as lesões verificadas em obras sob efeito das movimentações diferenciadas assumem diversas situações e intensidade, como exemplo:

- descolamento de revestimentos de seu substrato;
- destacamento das argamassas de seu substrato;
- destacamentos entre alvenarias e estruturas;
- fissuras ou trincas regularmente espaçadas em alvenarias ou concreto com grandes vãos sem junta;
- fissuras ou trincas inclinadas em paredes com vínculo em pilares e vigas expostos ou não à insolação;

- fissuras ou trincas horizontais em alvenaria apoiadas em lajes submetidas a forte insolação.

d) Expansão por umidade

Fiorito (1994) explica que os revestimentos cerâmicos estão sujeitos a um “inchamento quando entram em contato com a umidade do meio ambiente, logo após a saída do forno. Este inchamento avança após as placas terem sido assentadas e geram as tensões nos revestimentos que influenciam a estabilidade do mesmo quando em serviço”.

Segundo Bauer e Rago (2000), os minerais utilizados como matérias-primas das placas cerâmicas contêm água em suas moléculas, e no processo de queima durante a fabricação, essa água é volatizada. Posteriormente ao processo de queima, e durante meses e anos após a fabricação, ocorrerá a re-hidratação por adsorção de água em forma de vapor de umidade natural, e do meio ambiente onde a placa cerâmica for assentada. A re-hidratação por adsorção de água, gera um acréscimo das moléculas dos minerais, expandindo o corpo cerâmico (BAUER E RAGO, 2000).

e) Dilatação térmica

A dilatação térmica é uma das propriedades com maior relevância no bom comportamento dos revestimentos cerâmicos, em especial naqueles assentados na parte exterior das obras, por estarem submetidas a maiores intensidades térmicas (APICER, 2003).

Saraiva, Bauer e Bezerra (2002) também descrevem que o coeficiente de absorção térmica do material varia de acordo com a coloração das superfícies receptora de radiação solar. Assim, ao se utilizar um sistema de revestimento cerâmico com peças claras que possuem um baixo coeficiente de absorção a fachada atinge certa temperatura; e ao se utilizar peças escuras com alto coeficiente de absorção, a fachada deve atingir uma temperatura superior ao caso anterior.

3.3 ARGAMASSAS COLANTES

Conforme definições da ABNT NBR 14081-1 (ABNT, 2012), a argamassa colante industrializada é um produto composto de cimento Portland, agregados minerais e aditivos químicos. A argamassa quando misturada com água deve formar uma massa viscosa, plástica e aderente.

Segundo Souza (2010), algumas propriedades das argamassas colantes são importantes e desejáveis para um correto desempenho do revestimento. Entre elas destacam-se:

Retenção de água - propriedade que permite que o material depois de aplicado não perca para a base ou para o ar, a quantidade de água necessária à hidratação do cimento Portland (MEDEIROS; SABBATINI, 1999);

Trabalhabilidade - consistência que proporciona espalhamento preenchendo todas as reentrâncias da base ao ser assentada, não segregar ao ser transportado, se manter coesa, permanecer plástica por tempo suficiente até que a operação seja completada (ARAÚJO, 1995);

Extensão de aderência – é a área efetiva de contato que a argamassa colante promove para a fixação ao revestimento à base (MARANHÃO et al.,2003);

Plasticidade - propriedade que permite a argamassa deformar-se sem ruptura, mantendo a deformação depois de cessado o esforço deformante através da coesão interna e das forças de tensão superficial dos materiais (ARAÚJO, 1995);

Permeabilidade - propriedade que identifica a passagem da água através de um determinado material por meio da absorção pelos condutores capilares (ARAÚJO, 1995).

Podem-se melhorar as propriedades das argamassas pela aplicação de aditivos. Os polímeros podem melhorar as propriedades de compósitos de cimento Portland, entre os quais se destacam as argamassas (ALMEIDA; SICHIERI, 2006).

Masuero e Geyer (1995) citam que os polímeros são incorporados às argamassas para alterar algumas propriedades como, por exemplo: a retenção de água, a trabalhabilidade e o aumento da extensão de aderência. Estes autores descrevem que a retentividade é importante para que a água não seja facilmente adsorvida pela base o que influenciaria negativamente na hidratação do cimento e no processo de aderência. Já a trabalhabilidade é importante para promover a extensão de aderência, melhorando a penetração da argamassa nos interstícios dos materiais a serem assentados.

Segundo Lavelle (1998), as modificações das propriedades das argamassas podem ser obtidas devido à interação gerada entre os polímeros

e o cimento durante a hidratação deste, porém esta interação está diretamente relacionada ao tipo e quantidade de polímero utilizado.

3.4 INFLUÊNCIAS DA ARGAMASSA COLANTE E DO MATERIAL DE REVESTIMENTO NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA

Souza (2010) cita que a insuficiência de aderência na interface revestimento cerâmico/ argamassa ou substrato/argamassa é originada por diversos fatores como falhas no preparo da superfície, esforços solicitantes ou por especificação e emprego incorreto dos materiais.

A absorção de água do material de revestimento deve ter intensidade compatível com a capacidade de retenção de água da argamassa (SOUZA, 2010). Assim é de extrema importância a definição da argamassa adequada para cada situação com o intuito de evitar problemas com a perda de água de constituição tanto para o material a ela aderido quanto para o ambiente (MARANHÃO et al., 2003).

Segundo Masuero e Geyer (1995), a aspereza da superfície tem participação na resistência de aderência, pois o tardo da placa deve ter asperezas ou relevos que facilitem a aderência, bem como porosidade regular. A qualidade final do revestimento assentado sofre influência da mão de obra que o executa, gerando resultados diferenciados significativos na aderência entre revestimento e substrato.

De acordo com Groff (2011), existem duas teorias que explicam o fenômeno de aderência com o auxílio de adesivo entre dois materiais, sendo elas, a adesão mecânica e química.

Observa-se que “O princípio de aderência mecânica consiste na penetração do adesivo nos poros, depressões e saliências do substrato, propiciando um intertravamento mecânico, espécie de encunhamento devido à retenção e solidificação do adesivo dentro deles.” (MASUERO; GEYER, 1995). Este mecanismo de intertravamento é gerado pela formação dos cristais de hidratação do cimento no interior dos poros do material. Já a aderência mecânica ocorre por meio de dois fatores: consistência da argamassa e do adesivo e a rugosidade superficial do aderente.

A ancoragem química ocorre devido a uma ligação química entre a argamassa e o material cerâmico. Para Masuero e Geyer (1995) a teoria da adesão química propõe que “[...] se houver um íntimo contato molecular, o material aderirá por causa das forças superficiais atuando entre os átomos das duas superfícies.”.

Grof (2011) descreve que a aderência de um adesivo a um objeto ou substrato pode ser explicada como o somatório de forças mecânicas, físicas e químicas. Dessa forma, pode-se diferenciar o fenômeno da adesão mecânica de uma adesão específica baseada em forças intermoleculares e ligações químicas. Algumas teorias podem explicar o fenômeno de adesão através de forças, como a teoria da adsorção física, da adesão química e da eletrostática.

Segundo Viera (2005), a adsorção física refere-se às forças de Van der Waals agindo na interface do substrato adesivo, que envolve atrações entre dipolos permanentes ou induzidos. A adesão química pressupõe-se a formação de ligações covalentes ou iônicas na interface. Já a teoria da eletrostática implica a formação de forças eletrostáticas na interface entre os materiais, que são atribuídas à transferência de elétrons por meio da interface, criando cargas positivas e negativas.

3.4.1 Influência da adição de polímeros no desempenho da argamassa

Segundo Oliveira, Silva e Gomez (2005), os polímeros são responsáveis por alterar algumas propriedades dos materiais à base de cimento, tais como durabilidade, impermeabilidade, resistência à abrasão, flexibilidade e resistência de aderência. Atualmente, materiais cimentícios alterados com polímeros são amplamente aplicados como materiais para concerto de estruturas de concreto, pavimentação de pontes e plataformas de estacionamento e como argamassas adesivas para assentamento de placas cerâmicas.

Com a saída da água dos sistemas modificados com látices poliméricos, ao longo da hidratação do cimento, origina um fino filme ou membrana (OHAMA, 1984). Este filme geralmente promove uma melhor impermeabilidade do compósito e inibe a propagação de fissuras causadas por esforços de tração. Oliveira, Silva e Gomez (2005), citam que a melhoria da aderência nas argamassas e concretos modificados com polímeros é atribuída à formação do filme polimérico formado na interface com os demais materiais.

Fritze (2002) e Jenni (2003), em seus respectivos estudos, observaram uma diminuição do desempenho mecânico e de aderência de argamassas alteradas com polímeros quando em maior grau de saturação. Supõe-se que esta maior sensibilidade à água pode estar vinculada a modificações da fase polimérica quando em contato prolongado com a água.

Em estudo realizado por Oliveira, Silva e Gómez (2005), foi verificado que em relação ao ensaio de resistência a aderência, o EVA (copolímero acetato de vinila/etileno) é responsável pelo aumento da resistência com placas de porcelanato. As argamassas modificadas com o polímero citado demonstram uma maior sensibilidade à saturação, indicando que a fase polimérica ou uma eventual fase resultante da interação polímero- cimento é sensível a ação da água. Este fenômeno parece ser parcial ou totalmente reversível após a secagem, conforme observamos na figura 4.

Jenni et al. (2004) cita que a adição de látex aumenta a força adesiva de uma argamassa colante. E investigações microestruturais confirmam que é o látex disperso homogeneamente na matriz de cimento - polímero que provoca uma melhora de ambas as propriedades de coesão e adesão finais.

Jenni et al. (2004), descreve que a investigação das superfícies revela que ocorre falha na interface substrato-argamassa, pois representa a parte mais fraca no sistema. A força de aderência de todo o sistema é dominado pelas propriedades desta interface.

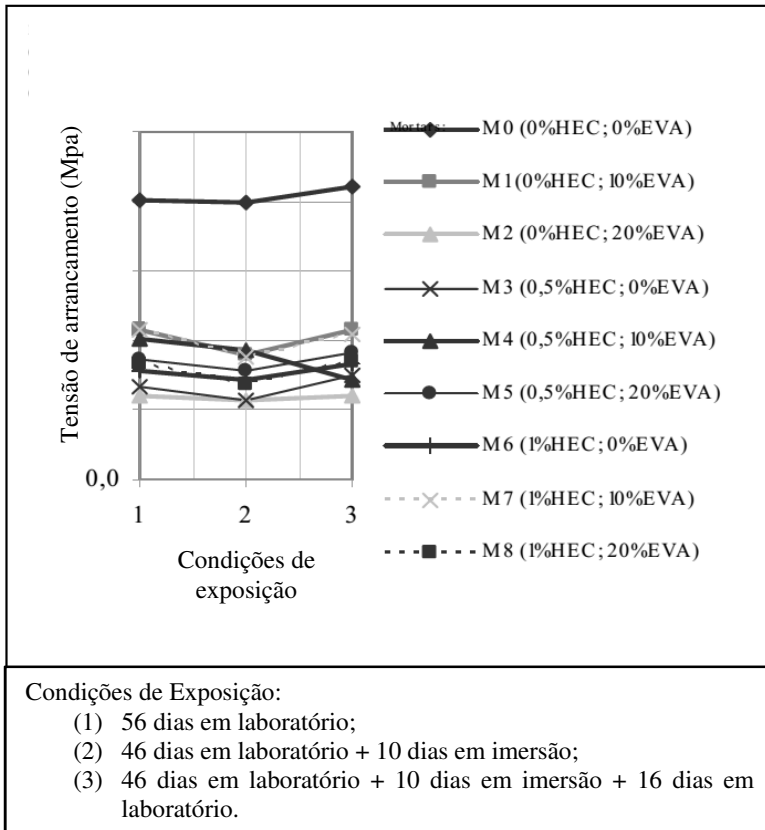
Oliveira (2004) ainda cita que o uso de látices poliméricos e éteres de celulose em argamassas interferem diretamente na trabalhabilidade das mesmas, uma vez que modificam características como viscosidade, plasticidade, coesão, consistência, adesão inicial e retenção de água.

Segundo Ohama (1984), na presença dos látices, as reações de hidratação do cimento são mais vagarosas, o que acaba adiando os tempos de pega de argamassas, sendo que para maiores teores de polímeros, maior é o efeito. Oliveira (2004) explica que o efeito do retardo da hidratação do cimento pode ser atribuído a diferentes aspectos como: a adsorção de partículas poliméricas na superfície dos grãos de cimento em hidratação, reduzindo a taxa de dissolução e, em consequência, a taxa de formação dos produtos hidratados; a formação de filme polimérico com o curso da hidratação, envolvendo grãos de cimento e obstruindo as reações e a formação de complexos entre as partículas de polímeros e íons Ca^{+2} em solução.

Entretanto Silva e Roman (2001) identificaram em seus estudos que, por alterar a viscosidade da fase aquosa das pastas de cimento, o polímero HEC adia as reações de hidratação nas primeiras idades. No entanto, por reterem água no sistema, o polímero gera em maior maturidade das pastas em idades mais avançadas.

Segundo Lavelle (1998), a formação do filme polimérico pode ser influenciada por três fatores: (I) ambiental – condições de tempo e temperatura; (II) físico- tamanho de partículas e qualidade da dispersão; (III) composicional – estrutura física e estrutura química do polímero.

Figura 4 - Efeito da condição de exposição e do teor de polímero na resistência de aderência entre argamassa e placa cerâmica.



Fonte: Oliveira, Silva e Gómez (2005).

Em outro estudo de Jenni et al. (2004), citam que a adição de látex aumenta a força adesiva de uma argamassa colante e por meio das investigações microestruturais conseguiram confirmar que o látex fica

disperso homogeneamente na matriz de cimento - polímero, o que provoca uma melhoria de ambas as propriedades de coesão e adesão finais.

3.5 REVESTIMENTOS DE ARGAMASSA VERSUS TEMPERATURA

Thomaz (1989) explica que todos os materiais empregados na construção estão sujeitos às alterações dimensionais quando varia a temperatura do meio em que se encontram. Essa variação pode gerar expansão quando a temperatura aumenta ou contração quando diminui, sendo a propriedade relacionada a este comportamento designada de coeficiente de expansão térmica.

Temoche-Esquivel (2009) cita que para revestimentos de fachada expostos ao meio ambiente, em situações extremas que podem gerar grandes variações térmicas acontecem durante o dia, quando o revestimento alcança valores de temperatura superficial máximos estando submetidos a períodos de precipitação. Nas situações em que as condições são favoráveis para a máxima incidência solar, também podem ocorrer variações térmicas decorrentes de curtos períodos de nebulosidade e vento (TEMOCHE-ESQUIVEL, 2009).

De acordo com Pereira (2008), sabe-se que quase todos os materiais utilizados na construção são sensíveis às solicitações térmicas, em função de vários fatores:

- condições de exposição aos agentes atmosféricos;
- geometria dos elementos construtivos em que se inserem;
- características dos elementos de proteção;
- características térmicas intrínsecas (condutividade térmica, massa específica, calor específico e coeficiente de absorção da radiação solar).

A ASTM D1079-02 - standard terminology relating to roofing, waterproofing, and bituminous materials (ASTM, 2002 apud TEMOCHE-ESQUIVEL, 2009), denomina de choque térmico o fenômeno produzido pela diminuição rápida de temperatura superficial da face externa do revestimento após o início de um evento de precipitação.

Borges (2010) descreve que, após períodos de aquecimento superficial (por incidência solar ou pelo calor do ar), gradientes de temperatura desenvolvem-se no sistema de vedação nos quais a base

apresenta menores temperaturas do que o revestimento, que tende a se expandir.

No caso concreto do revestimento cerâmico, sob ação da incidência direta da radiação solar, um revestimento de cor escura pode alcançar uma temperatura na casa dos 60°C, que originarão, na camada de revestimento, por restrição da dilatação na qual os revestimentos estão submetidos, tensões de compressão muito elevadas e sem alternativa de, frente à rapidez da ação, beneficiarem-se de relaxação significativa (BORGES, 2010).

O gradiente de temperatura, originado da variação não uniforme, gerará além de rupturas explosivas, uma curvatura no revestimento, que cuja restrição promoverá a instalação de tensões de tração ou de compressão nos revestimentos.

Para Freitas e Souza (2003), a intensidade da radiação solar global (que apresenta a componente direta e difusa) depende de diversos fatores, tais como:

- A latitude geográfica;
- A altitude do local;
- A estação do ano;
- A hora do dia;
- A orientação e inclinação da superfície que recebe a radiação;
- A poluição atmosférica;
- O ambiente circundante, nomeadamente o sombreamento que provoca sobre a superfície.

John e Pillegi (2007) descrevem que durante o resfriamento superficial, por sua vez, um gradiente inverso é formado, no qual o revestimento, em especial sua superfície, apresenta as menores temperaturas, contraindo-se mais do que a base que permanece por mais tempo aquecida.

Segundo estes mesmos autores, como a camada de revestimento encontra-se aderida, sua tendência de expansão ou contração é restringida mecanicamente pela base, muito mais robusta e rígida.

Tal restrição gera um estado de tensões, inclusive de cisalhamento, que se repete periodicamente durante a vida útil do revestimento, promovendo danos progressivos nos pontos mais frágeis, principalmente na interface argamassa-base, onde defeitos tendem a se acumular (BORGES, 2010).

Para Sá (2005), as variações de temperatura provocam alterações dimensionais nos materiais. Para os materiais de construção empregados atualmente e para a faixa de temperatura a qual estarão sujeitos durante sua vida útil, há uma relação linear entre a variação dimensional ocorrida e a variação da temperatura que a gerou, dada pela seguinte expressão:

$$\Delta L = L \cdot \alpha_1 \cdot \Delta T \quad (1)$$

em que:

ΔL – é a variação de comprimento por ação da temperatura [m];

L – representa o comprimento inicial [m];

α_1 – é o coeficiente de expansão térmica linear [$^{\circ}\text{C}^{-1}$];

ΔT – representa a variação da temperatura [$^{\circ}\text{C}$].

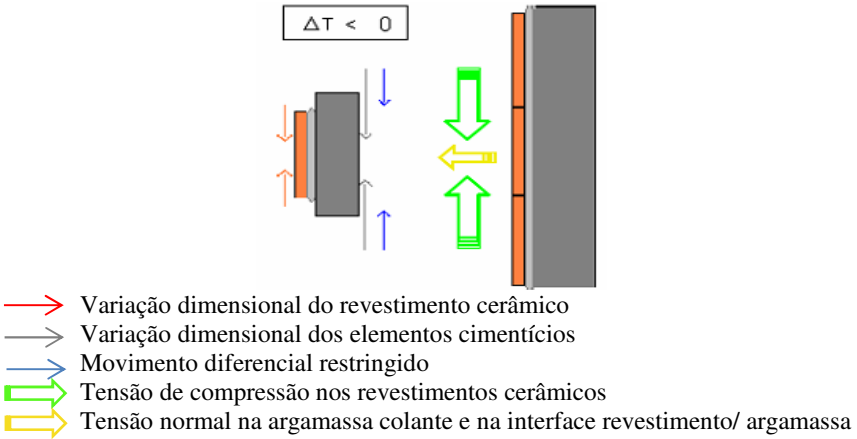
No sistema de revestimento cerâmico, o suporte e cada um dos seus constituintes apresentam, como materiais individuais, variações dimensionais diferentes quando sujeitos a uma mesma ação, porque são diferentes os seus coeficientes de expansão térmica linear (α_1) (SÁ, 2005).

Segundo Sá (2005):

“A diminuição uniforme da temperatura provocará tensões de compressão nos ladrilhos cerâmicos. Como, para esta mesma ação, os elementos cimentícios subjacentes têm a tendência de contrair mais do que os revestimentos cerâmicos, há uma componente diferencial do movimento que fica restringida e que origina a instalação da tensão de compressão nos ladrilhos (Figura 5). No caso contrário, um aumento uniforme da temperatura provocará a instalação de tensões de tração nos revestimentos cerâmicos, porque os revestimentos dilatam menos do que os elementos cimentícios adjacentes (Figura 6)”.

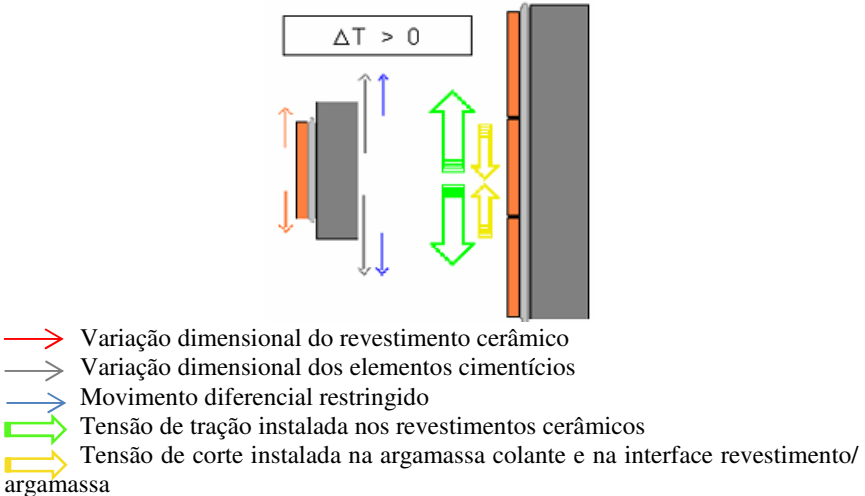
Segundo Temoche – Esquivel (2009), os efeitos da variação de temperatura e umidade dos revestimentos, bem como o seu comportamento mecânico, podem ser avaliados de forma isolada ou considerando sua interação.

Figura 5 - Instalação de tensões no sistema de revestimento cerâmico devido à diminuição uniforme da temperatura.



Fonte: SÁ, 2005.

Figura 6 - Instalação de tensões no sistema de revestimento cerâmico devido ao aumento uniforme da temperatura.



Fonte: SÁ, 2005.

Vários fatores que proporcionam o desenvolvimento da aderência, especialmente as características dos materiais constituintes, o processo de aplicação e as características intrínsecas da base de aplicação podem ser considerados controlados. Entretanto, fatores inerentes às argamassas de revestimento e ao clima são de difícil controle (TEMOCHE – ESQUIVEL, 2009).

Sá (2005) explica que:

“As variações sazonais da temperatura geralmente são lentas, o que favorece a relaxação das tensões geradas. No entanto, se essa variação for brusca ou rápida, não haverá lugar para a relaxação significativa das tensões, sobretudo nos revestimentos cerâmicos cuja capacidade de relaxação de tensões será menor do que a das argamassas. Assim, nos revestimentos, o nível elevado das tensões geradas, conjugado com o seu comportamento frágil, poderá dar origem a rupturas ruidosas e violentas, ou mesmo explosivas, indício da liberação de uma grande quantidade de energia acumulada”.

Quando a variação da temperatura não é uniforme, como por exemplo, no caso de uma superfície exterior sujeita à radiação solar, a deformação diferencial não só é originada da diferença de coeficientes de expansão térmica linear, mas também da própria diferença de temperatura (SÁ, 2005).

3.6 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Segundo Groff (2011), pode-se entender que uma patologia ocorre em um edifício quando este, em um determinado período de sua vida útil, não apresenta o desempenho previsto. De acordo com Barros e Sabbatini (1997), as manifestações patológicas que surgem ao longo da vida útil do edifício, provêm das etapas de elaboração de projeto e execução. A manifestação patológica da etapa de projeto acontece ou pela ausência de um projeto específico de revestimento ou por inconsistências em sua concepção por não abranger condições de exposição do edifício e requisitos básicos de sua construção. Relacionados à etapa de execução, as manifestações patológicas podem surgir por causa da má execução, que pode resultar da mão de obra inadequada ou pela falta de especificação das técnicas de execução.

Segundo Souza (2010), as manifestações patológicas mais comuns nos revestimentos cerâmicos de fachada podem estar relacionadas à camada onde ocorre, ou seja, no revestimento cerâmico, no adesivo ou no substrato. São eles: defeitos das placas cerâmicas (expansão por umidade e defeitos na superfície vidrada das placas), falhas no substrato (relacionadas com os movimentos do edifício, devido a choques térmicos, deformações da base, fluência e retração do concreto) e falhas no “adesivo” (problemas na argamassa de fixação ou ocasionados por assentamento inadequado e/ou feito por mão de obra pouco qualificada).

Para Sabbatini e Barros (1990):

“Os principais fatores associados à origem dos destacamentos são: deformação ocorrida nas bases (alvenaria/ estrutura) devida acomodações do edifício após ocupação, fluência da estrutura de concreto, a qual não é atingida de imediato e às variações higrotérmicas; falta de juntas de controle; a inadequação das argamassas de emboço, assentamento e rejunte e a preparação deficiente da base”.

3.6.1 Descolamentos

O descolamento é a separação das camadas do revestimento e apresentam extensões variáveis podendo se limitar a pequenas áreas ou abranger a totalidade de uma alvenaria (BAUER, 1994). Os tipos de descolamentos podem ser por empolamento, em placas ou em pulverulência. Exemplos deste problema são apresentados na figura 7.

Segundo Bauer (1994):

“O descolamento em placas ocorre quando a placa de revestimento de argamassa descola total ou em porções, da alvenaria. A causa dessa patologia, geralmente, está relacionada à falta de aderência das camadas do revestimento à base. Argamassas com camadas muito espessas, argamassas ricas em aglomerantes e variações grandes na temperatura, gerando tensões de cisalhamento na interface argamassa-base, podem ser possíveis causas do descolamento do revestimento”.

Segundo Groff (2011) os descolamentos em revestimentos cerâmicos originam-se devido à perda de aderência do revestimento cerâmico com a

argamassa ou entre esta e o substrato, devido às tensões originadas extrapolarem a capacidade de aderência de ligações.

Figura 7 - Exemplos de descolamento.



Fonte: Cirne et al, 2006.

Para Campante e Baía (2003):

“Além das causas anteriormente citadas, a ausência de detalhes construtivos como, por exemplo, contravergas e juntas de canto de paredes, a utilização de argamassa colante com prazo de validade vencido, o assentamento sobre superfície contaminada, a imperícia e incapacidade da mão de obra durante a execução e a falta de controle de qualidade dos serviços executados, podem ser causas para o descolamento”.

3.7 CONCEITO DE DURABILIDADE E SUA APLICAÇÃO AO RCFS

No sistema de revestimento cerâmico de fachada, a quantificação da durabilidade tem grande importância por dois motivos: o primeiro é permitir a utilização destas informações para se estimar a viabilidade econômica da aplicação de certos tipos de componentes e materiais (CAMPANTE; SABBATINI, 2001). O segundo motivo é possibilitar a comparação de componentes e materiais em termos de durabilidades apresentadas, com outras opções, de forma que se possa optar por aqueles que melhor se adequem às condições impostas.

Para Campante e Sabbatini (2001):

“Estabelecer a durabilidade neste subsistema passa primeiramente pelo conhecimento dos mecanismos de deterioração associados a cada um dos competentes dos RCFS, e a partir destes dados, considerar o mesmo raciocínio para o subsistema, analisando-se seus mecanismos de degradação. Sendo que a deterioração é o termo associado aos componentes do subsistema e degradação é o termo diretamente ligado ao subsistema como um todo”.

Os agentes ou fatores de degradação são quaisquer entes que agem sobre os materiais ou componentes de uma construção e que provocam alterações nos materiais que diminuem o seu desempenho (JONH; SATO, 2006).

De acordo com John e Sato (2006):

“A origem dos agentes de degradação é diversa: o meio ambiente (clima, poluição, ventos, componentes do ar), o carregamento da construção (cíclico ou contínuo), biológicos (fungos, bactérias, roedores, vegetais), produzidos pelo uso da construção (como o desgaste por abrasão, impactos, dentre outros.) ou até mesmo incompatibilidade química ou física entre materiais (corrosão eletrolítica) ou entre fases de um mesmo material (a reação álcali-agregado no concreto)”.

Os agentes de degradação podem ser de natureza mecânica, eletromagnética, térmica, química ou biológica (tabela 1).

Tabela 1 - Natureza dos agentes de degradação ISO 15686 – 2.

Natureza	Classe
Agentes mecânicos	Gravidade Esforços e deformações impostas ou restringidas Energia cinética
Agentes eletromagnéticos	Vibrações e ruídos Radiação Eletricidade Magnetismo
Agentes térmicos	Níveis extremos ou variações muito rápidas de temperatura
Agentes químicos	Água e solventes Agentes oxidantes Agentes redutores Ácidos Bases Sais Quimicamente neutros
Agentes biológicos	Vegetais e micro-organismos Animais

Fonte: ISO, 2001.

John e Sato (2006) ressaltam que muitas vezes um agente de degradação de uma natureza causa efeito de caráter diverso. Como exemplo disso tem a temperatura; além da elevação da temperatura gerar uma elevação na taxa de degradação, tal como previsto por Arrhenius, ela também gera variações dimensionais, que podem provocar o aparecimento de tensões.

3.7.1 Mecanismos de avaliação da degradação

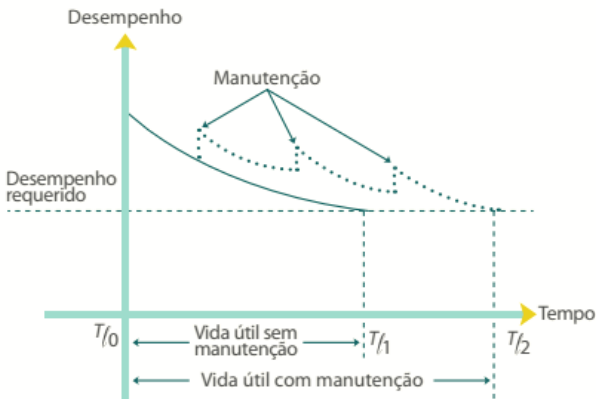
De acordo com John e Sato (2006), os agentes de degradação geram alterações no material, por meio de reações químicas, processos físicos ou mecânicos, resultando em perdas do desempenho de um produto. O entendimento dos mecanismos de degradação é a base científica para estimar a durabilidade, o que promove a definição de modelos de degradação, norteados por medidas para a melhoria da resistência dos materiais à degradação e amparando o desenvolvimento de ensaios de envelhecimento.

A CBIC (2013), com base nas normas de desempenho estabelece os seguintes conceitos:

- **DEGRADAÇÃO:** redução do desempenho devido à atuação de um ou de vários agentes de degradação.

- **DURABILIDADE:** capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções ao longo do tempo, sob condições de uso e manutenção especificadas no Manual de Uso, Operação e Manutenção. Para ela, o termo “durabilidade” expressa o período esperado de tempo em que um produto tem potencial de cumprir as funções a que foi destinado, num patamar de desempenho igual ou superior àquele predefinido. Para tanto, há necessidade de correta utilização, bem como de realização de manutenções periódicas em estrita obediência às recomendações do fornecedor do produto, sendo que as manutenções devem recuperar parcialmente a perda de desempenho resultante da degradação, conforme ilustrado na figura 8.

Figura 8 - Recuperação do desempenho por ações de manutenção.



Fonte: ABNT, 2012.

3.8 MÉTODOS DE ESTUDO DE ENVELHECIMENTO

Para realizar a previsão da durabilidade dentro de um prazo de tempo razoável, algumas estratégias podem ser realizadas (JOHN; SATO, 2006):

- a) ensaios de envelhecimento acelerado;
- b) ensaios de envelhecimento natural; e
- c) estudos de campo.

3.8.1 Ensaios de envelhecimento acelerado

Segundo John e Sato (2006), os ensaios de envelhecimento acelerado são realizados em laboratórios, simulando a ação de agentes de degradação em intensidades muito superiores às esperadas em condições reais de uso.

Conforme estes autores é importante ressaltar que não há ensaios de envelhecimento acelerado universais: para cada mecanismo (ou combinação de agente de degradação com material) é imprescindível um ensaio completamente diferente.

Existem vários equipamentos utilizados neste tipo de ensaio. Equipamentos que expõem a amostra a ciclos de calor, água e radiação UV (como Weather – Ometer) e às câmaras de C-UV, que combinam condensação com radiação ultravioleta, são utilizadas em estudos de polímeros. As câmaras de carbonatação acelerada, onde a umidade é controlada e o teor de CO₂ é superior ao da atmosfera (algumas vezes com valor até 100% acima dos encontrados na atmosfera), a pressão atmosférica ou até à alta pressão, permitem acelerar as reações de carbonatação de materiais cimentícios (JOHN; SATO, 2006).

Os ensaios acelerados colocam, muitas vezes, alterações nos mecanismos de degradação (por exemplo, a carbonatação pode levar à formação de produtos outros que não a calcita), atrapalhando a extrapolação das conclusões para condições de uso (JOHN; SATO, 2006).

Além disso, normalmente, esses ensaios sugerem a exposição de pequenas amostras a um ou mais agentes concomitantemente, enquanto que em condições de uso, outros agentes de degradação certamente estão presentes (JOHN; SATO, 2006).

3.8.2 Envelhecimento natural

A exposição de corpos-de-prova aos agentes atmosféricos é técnica universalmente empregada, seja em estudos de corrosão, carbonatação, polímeros e tintas. Normalmente, os corpos-de-prova expostos são de pequenas dimensões e são orientados de maneira a elevar ao máximo a exposição à radiação solar (JOHN; SATO, 2006).

Conforme John e Sato (2006), nesses locais de envelhecimento, as condições ambientais como temperatura, radiação em diferentes faixas, umidade, vento, pH da chuva, partículas no ar e concentração de poluentes (SO_x, NO_x, CO₂, etc.) são monitorados de forma constante, e o indicador de degradação é avaliado periodicamente. Dessa forma, expondo um mesmo material em locais distintos, é provável correlacionar intensidades de agentes de degradação com modificação no desempenho.

Para John e Sato (2006), uma maneira de apressar o alcance de resultados é empregar técnicas que sejam extremamente sensíveis a pequenas modificações nas propriedades em questão.

Um obstáculo dos ensaios de envelhecimento natural é que fatores de uso e aqueles vinculados com a interação entre diferentes materiais e componentes da construção não são avaliados.

3.8.3 Envelhecimento em uso

Segundo John e Sato (2006), a exposição de materiais em construções submetidas a condições reais de uso é uma forma interessante de acompanhar a degradação de produtos. Para estes autores, casuais incompatibilidades com outros materiais ou produtos presentes nos edifícios, consequências de manutenção e montagem, bem como os efeitos dos fatores de uso são detectáveis.

Entretanto, muitas vezes não é possível medir acuradamente a intensidade dos fatores de degradação que atuam, de fato, sobre o produto, o que introduz dificuldades para a modelagem baseada em funções dose-resposta (JOHN; SATO, 2006).

Uma alternativa conveniente é realizar estudos em um universo de edifícios que apliquem o mesmo produto, o que torna admissível identificar a distribuição da vida útil de uma população de determinado produto (JOHN; SATO, 2006).

3.9 METODOLOGIAS DESENVOLVIDAS EM ESTUDOS ANTERIORES

Apresentamos a seguir os trabalhos desenvolvidos por outros pesquisadores que abordam metodologias para a avaliação do comportamento do desempenho de fachadas que envolvem a análise do fator temperatura.

Sá (2005) desenvolveu um estudo denominado Durabilidade de Cimentos-Cola em Revestimentos Cerâmicos Aderentes a Fachadas, com o objetivo de avaliar a influência do envelhecimento no desempenho dos cimentos-cola, onde realizou-se um conjunto de ensaios na câmara de envelhecimento acelerado, que simularam as ações e condições climáticas mais relevantes: radiação, chuva, gelo-degelo e variação da temperatura e da umidade relativa.

Os valores limites de temperatura e umidade relativa foram estabelecidos de modo a ultrapassarem ligeiramente as condições climáticas mais adversas que uma parede exterior poderia experimentar em Portugal. Estabeleceu-se, assim, condições extremas de dilatação térmica e variação dimensional de caráter higrotérmico.

O número de ciclos a que as amostras estiveram sujeitas variou de 1 a 112 ciclos. Paralelamente aos ensaios de envelhecimento artificial acelerado realizados em laboratório, construiu-se uma estação de envelhecimento natural. Os ensaios *in loco*, de longa duração, foram necessários para se estabelecer a correlação entre o número de ciclos de ensaio no interior da câmara de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de envelhecimento. Assim, determinou-se o tempo de vida útil do sistema de revestimento cerâmico aderente.

No estudo experimental realizado, utilizaram-se três tipos distintos de revestimentos cerâmicos frequentemente usados em Portugal no revestimento exterior de fachadas. Estes revestimentos apresentam valores de absorção muito distintos (L0 – BIa (0,02% aa) , L1 - AI (2,74% aa) e L2 – BIIa (5% aa)).

Os cimentos-cola utilizados neste foram os únicos aconselhados para aplicações no exterior.

O conjunto formado por uma placa de cimento com 40 mm de espessura, por uma fina camada de cimento-cola, da classe C2 ou C2S, e por três tipos de revestimentos cerâmicos, do tipo L0, L1 ou L2.

As amostras foram submetidas a uma estação de envelhecimento natural, que foi constituída por uma parede de cimento com cerca de 20 cm

de espessura, 2 m de altura. Outra parte das amostras foi submetida à Câmara de envelhecimento artificial acelerado. Para a realização de ensaios de envelhecimento acelerado foi utilizada uma câmara programável – Fitoclima 600 EDTU. Este equipamento funciona para as seguintes condições:

Temperatura: entre -25 e $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; umidade relativa: entre 30 e 99 % $\pm 3\%$; radiação: entre 0 e 1639,99 W (lâmpada de Xénon 6000W); Pulverização: entre 0 e 8 L/min; e rotação: entre 0 e 10 r.p.m.. Sendo que após as submissões aos processos de envelhecimento, foram realizados ensaios de arrancamento por tração.

A característica avaliada neste estudo, que afetou o desempenho do revestimento cerâmico aderente, foi à aderência dos cimentos-cola. Para avaliar o decréscimo desta propriedade realizaram-se ensaios de arrancamento por tração sobre os diferentes tipos de amostras concebidos. Sá (2005) realizou os ensaios de arrancamento por tração de acordo com a Norma Europeia EN 1348, 1997.

As conclusões com os resultados obtidos mostraram um importante decréscimo da aderência após 112 ciclos de envelhecimento, onde:

- Cimentos-cola da classe C2 – $\Delta\sigma \approx 70\%$;
- Cimentos-cola da classe C2S – $\Delta\sigma \approx 50\%$.

- Para o Valor Crítico fixado de $\sigma_a = 0,3\text{ MPa}$ prevê-se o fim da vida útil ao fim de:

- 140 Ciclos para cimentos-cola da classe C2;
- 210 Ciclos para cimentos-cola da classe C2S.

- A realização de ensaios de curta duração (em laboratório) e de longa duração (*in situ*) permite definir o modelo de previsão da vida útil dos cimentos-cola.

- No que se refere à adesão é possível quantificar a Durabilidade dos cimentos-cola.

Outro estudo que abordou este tema foi desenvolvido por Sousa (2008), denominado Previsão da Vida Útil dos Revestimentos Cerâmicos Aderentes em Fachada, que se inseriu numa linha de investigação sobre a previsão da vida útil de elementos na construção civil, seguindo uma metodologia desenvolvida para a estimativa da vida útil dos rebocos exteriores correntes e adaptando-a aos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada. Esta metodologia é desenvolvida com base em dados coletados através de inspeções visuais e concentra em três fases fundamentais: a quantificação e classificação das anomalias do revestimento, a coleta e o tratamento de informação de campo, a proposta de um padrão de

degradação de referência e de um valor de vida útil de referência dos revestimentos cerâmicos.

Sousa (2008) constatou que a elevada complexidade do comportamento dos revestimentos cerâmicos, associada à indisponibilidade de informação sobre a qualidade dos materiais e às condições de execução, conduziu à obtenção de resultados estatisticamente pouco significativos.

O objetivo da dissertação foi a determinação da previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada. Pretendeu-se obter uma curva de degradação da solução de revestimento e uma fórmula de cálculo da durabilidade do mesmo. Os dados para a elaboração desta previsão foram obtidos através da inspeção de 117 revestimentos cerâmicos aderentes em fachada localizados em Lisboa.

Na definição das bases para os modelos de previsão da vida útil – determinaram-se as bases dos modelos de previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes, onde o objetivo foi à identificação de variáveis independentes que condicionam a durabilidade dos revestimentos cerâmicos aderentes, isto é, a discriminação dos fatores relevantes que contribuem ou atenuam o processo de degradação. O passo seguinte compreendeu a delimitação de diferentes níveis de degradação, estabelecendo graus de severidade das anomalias consoante tipo de anomalias e a distribuição evidenciada. Este procedimento teve como objetivo principal a definição dos parâmetros a utilizar nos modelos de previsão útil, culminando na elaboração da ficha de inspeção.

O planeamento e execução do trabalho de campo compreenderam a identificação e a coleta da informação geral dos casos a analisar. O objetivo do trabalho de campo foi inspecionar uma soma total de cerca de 80 revestimentos cerâmicos de fachada, localizados maioritariamente na zona de Lisboa e arredores e uma pequena amostra de edifícios em Évora.

Esta avaliação é realizada através da classificação da gravidade das principais manifestações patológicas, possibilitando a atribuição de um nível de degradação geral atual dos revestimentos cerâmicos aderentes. O tratamento estatístico desta informação permite uma análise ao desempenho dos revestimentos ao longo do tempo, possibilitando também a previsão da sua vida útil.

Após a coleta dos dados no trabalho de campo, iniciou-se a elaboração dos modelos de previsão da vida útil e pretendeu-se, nesta fase, obter uma curva de degradação dos revestimentos cerâmicos aderentes e uma fórmula de cálculo da durabilidade dos mesmos, segundo a metodologia do modelo 2002 utilizada por Gaspar (2003, apud SOUSA,

2008). Ela optou por adotar uma metodologia onde fosse possível o estudo da evolução dos revestimentos cerâmicos utilizando modelos já equacionados (pré-existent) e adaptando-os ao caso concreto dos revestimentos cerâmicos aderentes.

Deste modo, o primeiro passo foi a definição dos estados limite de vida útil de forma a estabelecer uma base teórica para esta análise. Em seguida, apresentaram e discutiram dois modelos utilizados na avaliação do nível de degradação geral.

O nível de degradação global de uma construção é um patamar qualitativo ou um índice quantitativo que traduz o desempenho global dessa construção (GASPAR, 2003 apud SOUSA, 2008). Este índice permite a comparação estatística entre os casos estudados, uma vez que a classificação das anomalias detectadas pelo seu grau de gravidade não o permite fazer (GASPAR, 2003 apud SOUSA, 2008).

Para a determinação do nível de degradação, adotaram dois modelos: o modelo do ano 2002 de Gaspar (2003, apud SOUSA, 2008) e o modelo do ano 2008 de Gaspar (2003 apud SOUSA, 2008). Estes modelos foram baseados nos métodos dos patamares de degradação onde se considera que a degradação de um elemento pode ser traduzida por diversos níveis. Apesar de serem bastante redutores da realidade, estes métodos têm uma grande aceitação por serem de muito fácil aplicação e compreensão.

Este índice de degradação permitiu a comparação de diferentes revestimentos cerâmicos, sendo posteriormente possível a análise da evolução dos revestimentos cerâmicos ao longo da sua idade.

Por fim, realizou-se a análise da evolução da deterioração dos revestimentos cerâmicos segundo as principais características registradas em trabalho de campo, pretendendo-se criar correlações entre estas.

A análise e discussão dos resultados foram desenvolvidas paralelamente ao estudo da durabilidade dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachadas, discutindo os resultados simultaneamente com a sua apresentação, aonde chegaram a conclusão.

Na conclusão deste trabalho, elaborou-se o sistema de classificação de forma individual para cada grupo. Um dos fatos verificados em trabalho de campo e na análise dos resultados foi a multiplicidade de mecanismos de degradação possíveis para os revestimentos cerâmicos que dificulta em parte a caracterização da sua evolução. Verificou-se que seria relevante para um desenvolvimento futuro um aprofundamento deste sistema de classificação.

Quando à aplicação de um modelo de degradação para os revestimentos cerâmicos, constatou-se que o modelo do ano 2002 de Gaspar (2003, apud em SOUSA, 2008) demonstrou ser inadequado na descrição do modelo de degradação dos revestimentos cerâmicos, assim como apresentava falhas na descrição da evolução da degradação o que conduziu a resultados dos níveis globais de degradação incompatíveis com o real estado de degradação da amostra. Perante este fato, adotou-se um segundo modelo (modelo do ano 2008) Gaspar (2003, apud SOUSA, 2008), que, apesar de ter como base o primeiro modelo (modelo do ano 2002), este modelo ultrapassa todas as lacunas pré-existentes, conservando a facilidade de aplicação e de interpretação dos resultados. Na aplicação deste modelo aos revestimentos cerâmicos aderentes, verificou-se alguma alteração no intervalo de variação do índice da severidade de degradação.

Esta variação decorre da grande diversidade de anomalias existentes nos revestimentos cerâmicos e, conseqüentemente, numa maior sobreposição das mesmas, por comparação com os resultados obtidos para revestimentos de reboco.

No que diz respeito à análise da evolução da degradação dos revestimentos cerâmicos, foram elaborados vários estudos contemplando as diferentes variáveis registradas para a amostra e verificou-se que nenhuma das análises conduziu a valores estatisticamente relevantes. Neste trabalho, por se ter utilizado uma amostra com uma dimensão significativa, pelo modelo do ano 2008 conseguiu traduzir bem os diferentes estádios da degradação dos revestimentos cerâmicos e por Gaspar (2003, apud SOUSA, 2008), ter conseguido valores estatisticamente significativos no estudo da evolução da degradação para os rebocos em fachadas, seria expectável a obtenção de valores mais conclusivos. Pelo contrário, os resultados tomaram a forma de uma “nuvem” de pontos com uma elevada dispersão.

Deste modo, e com base em alguma bibliografia consultada, existem indícios de que (por os revestimentos cerâmicos compreenderem uma maior complexidade do sistema e uma maior variabilidade de materiais do que os rebocos) a qualidade dos materiais e a qualidade da execução deste sistema condicionam de forma muito intensa a evolução da degradação. Assim, estes fatores podem ter contribuído como fatores de dispersão, por não se encontrarem definidos devido à indisponibilidade da informação, impossibilitando a obtenção de valores estatisticamente relevantes. Aliás, os resultados denunciam a existência de fatores de dispersão na amostra, isto que, apesar de não existirem grandes correlações, se obtiveram tendências lógicas nas variadas avaliações efetuadas (exemplo: curva de degradação

com alta exposição à umidade com uma taxa de degradação mais elevada do que a da curva de baixa exposição; para dimensões do ladrilho superiores a 20 cm de lado, registrou-se uma taxa de degradação mais elevada).

Consequentemente, foi possível definir taxas de degradação máxima e mínima e revelar os limites mínimos e máximos da vida útil dos revestimentos cerâmicos dados por esta amostra, entre os 14 e os 67 anos.

Devido à baixa correlação dos dados, não foi possível a previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos, nem foi atingido o objetivo da aplicação do método fatorial.

Outro trabalho desenvolvido foi por Barleta (2007), denominado Procedimento Experimental e Numérico para a Avaliação da Resistência à Fadiga de Sistemas, que apresentou uma metodologia para a avaliação da resistência à fadiga de sistemas de revestimento, onde usou a análise experimental e numérica via elementos finitos e considerou o sistema de revestimento sob a ação cíclica da temperatura ambiente característica da cidade de Brasília. Esta pesquisa estudou, em particular, a influência das tensões termomecânicas na ruptura por fadiga da argamassa de revestimento. Obteve experimentalmente a curva "S-N" (tensão alterada versus número de ciclos) para a argamassa de emboço. O objetivo geral do trabalho foi analisar o comportamento de sistemas de revestimento de fachadas por meio de um estudo experimental da argamassa sob carga cíclica, associando este estudo a uma simulação numérica completa do sistema de revestimento. E buscou apresentar metodologia para a avaliação da resistência à fadiga por tensões cíclicas termomecânicas que atuam no sistema de revestimento, quando está submetido às variações de temperatura oriundas do meio ambiente.

A resistência à fadiga da argamassa sob tração foi determinada como sendo de 0,64 MPa. Com modelos apropriados para materiais frágeis, inferiu-se também a resistência à fadiga da argamassa sob compressão e sob tração - compressão. Com os valores de tensão alternada obtidos via análise numérica, foi possível, avaliar a resistência à fadiga da argamassa de emboço em sistema de revestimento cerâmico de fachadas.

Barleta (2007) concluiu que o fenômeno da ruptura foi fortemente dependente das características intrínsecas do corpo de prova, tais como: acabamento superficial, consistência da argamassa, ar incorporado, resistência à tração na flexão e resistência à compressão, módulo de deformação e a existência de defeitos internos, que podem levar não só à heterogeneidade da amostra como também a regiões de elevada

concentração de tensões. Destacou que com o controle de qualidade no preparo dos corpos de prova, os ensaios mostraram-se pouco dispersos.

Por ser um material frágil como o concreto, a curva de comportamento à ruptura da argamassa de emboço à compressão e à tração foi admitida como compatível a critérios de resistência do concreto.

Constatou também que a cerâmica escura absorve mais a temperatura aplicada devido ao fato de ter o coeficiente de absorção térmica maior que o da cerâmica clara. Assim, observou que no modelo numérico com cerâmica escura, as temperaturas maiores geraram deformações e tensões maiores, o que leva à ruptura mais cedo – para as condições de contorno de confinamento adotadas. Para o modelo com cerâmica clara, o efeito da temperatura cíclica no sistema é mais demorado em função da absorção menor da temperatura, se comparado ao valor da cerâmica escura, sendo do ponto de vista da tensão, mais aconselhável a utilização da cerâmica clara para revestimento externo.

Os resultados do comportamento cíclico das tensões ocorrem não só do transiente usado, das condições de contorno impostas, mas também devido às diferenças das propriedades dos materiais entre as diversas camadas do sistema de revestimento da camada cerâmica até as camadas internas.

Com base nos resultados, o autor propõe para trabalhos futuros, elaborar um modelo numérico que leve em consideração o comportamento não linear e as curvas de ruptura de cada material que compõem o sistema de revestimento cerâmico, considerando também na modelagem numérica com o método dos elementos finitos a variação das propriedades dos materiais com a temperatura do transiente. E achar um modelo teórico representativo das tensões térmicas atuantes, de tal forma que possa ser usado com facilidade por projetistas.

Fontenelle (2009) também desenvolveu pesquisas nesse tema, denominado de Estudo das Causas dos Descolamentos de Revestimento Cerâmico em Fachadas e a Retroalimentação do Projeto. O trabalho teve como objetivo estudar as causas de descolamentos de revestimentos cerâmicos em fachadas em dez obras no período de 1999 a 2008, baseados em laudos técnicos existentes, a fim de gerar subsídios para retroalimentação do processo de projeto.

O estudo foi realizado através de entrevista com o engenheiro da construtora, observações visuais, registros fotográficos, ensaios laboratoriais realizados pela empresa e relatório de uma consultoria contratada pelas construtoras ou moradores dos condomínios.

Para avaliação das causas de patologias em fachadas, fez-se uso de dados secundários de dez relatórios técnicos de um Núcleo de Tecnologia, nos períodos de 1999 a 2008. Os referidos laudos foram elaborados a partir de entrevista com o engenheiro de cada obra estudada, observações visuais, registros fotográficos e ensaios laboratoriais.

Os ensaios realizados para análise das causas dos descolamentos das cerâmicas nas fachadas foram Expansão por Umidade – ABNT NBR 13818, Percussão – ABNT NBR 13.749, Arrancamento ABNT NBR 13755/96 e Absorção.

Como conclusão, Fontenelle (2009) observou que a incidência das manifestações patológicas nas edificações está intimamente ligada à qualidade dos materiais empregados, à ausência de precauções em nível de projeto de fachada e de execução, e muitas vezes por negligência, displicência ou por falta de conhecimentos técnicos adequados por parte dos profissionais que atuam na construção civil.

A ausência de juntas de movimentação e dessolidarização longitudinal e/ou transversal e deficiência no assentamento das cerâmicas foram considerados fatores críticos no descolamento das cerâmicas.

Isto significa que a elaboração do projeto de fachada e a capacitação dos assentadores são ações necessárias para evitar que este tipo de problema volte a acontecer, além da introdução de juntas planejadas que ajudam a minimizar as patologias existentes.

Focado neste tema, Pereira (2008) realizou o estudo denominado Influência das Variações de Temperatura no Desempenho de Fachadas de Alvenaria. O trabalho da autora pretendeu analisar de forma sumária o efeito mecânico nas paredes de alvenaria da existência de um diferencial de temperatura entre o interior e o exterior.

A finalidade foi aprofundar o conhecimento sobre a influência das variações de temperatura no desempenho mecânico das paredes de alvenaria, ou seja, pretendeu conhecer se o diferencial de temperatura pode induzir um estado de tensão, que seja responsável por algumas das anomalias existentes na construção em Portugal.

Para se elaborar este estudo, foi necessário desenvolver um trabalho integrado, ou seja, efetuou-se um estudo conjunto da análise térmica com os problemas mecânicos.

Numa primeira parte, apresentou-se uma síntese das exigências aplicáveis às unidades de alvenaria utilizadas na execução de paredes, conforme as normas atualmente em vigor, e também das paredes da envolvente, tendo por base a regulamentação portuguesa e estrangeira

aplicável, para uma melhor caracterização. Discutiu os métodos experimentais e analíticos de determinação das características térmicas dos produtos e das alvenarias. Fez a síntese das exigências dos revestimentos utilizados com maior frequência em Portugal. E, por último, especificou as principais causas de fissuração e instabilidade das paredes de alvenaria.

Na segunda parte do trabalho, apresentou um modelo numérico de simulação de uma parede de alvenaria sujeita a um diferencial de temperatura entre o interior e o exterior, em regime estacionário, através do método dos elementos finitos usando o programa ABAQUS. Apresentou os resultados de uma análise de sensibilidade visando avaliar a influência da variação de diversas características da parede, como o coeficiente de transmissão térmica, condutividade térmica do material e o próprio gradiente de temperatura, no desempenho mecânico da mesma.

Por fim, à luz dos resultados obtidos, discutiu de uma forma muito genérica qual a influência que um diferencial de temperatura tem sobre o desempenho mecânico de uma parede de alvenaria, ou seja, qual a sua contribuição para os níveis de tensão estabelecidos nas paredes.

Como conclusão, Pereira (2008) observou que para paredes simples, quando sujeita a uma temperatura interior de 25 °C e exterior de 5 °C encontra-se totalmente a compressão, pelo fato de ter havido um aumento do estado de tensão com o acréscimo da temperatura média da parede em 15 °C.

Numa situação típica de verão, com uma temperatura exterior de 40 °C e interior de 20 °C, as tensões de compressão são máximas na face exterior, com um valor na ordem dos 0,50 MPa. Tal aspecto deve-se ao aumento da temperatura média da construção em cerca de 30 °C, o que provoca um maior estado de tensão, mantendo-se a parede toda à compressão.

Nesta situação, concluiu que a existência de um diferencial de temperatura deste tipo contribui em cerca de 30% para a ruptura global por compressão de uma parede de alvenaria.

Na outra hipótese, em que a temperatura exterior é de -10 °C e a interior de 10 °C, verifica-se que existem trações na face exterior e compressões na face interior. Esta situação reflete o fato de não se ter introduzido nenhum estado de tensão, uma vez que a temperatura média a que a parede está sujeita é de 0 °C.

Pereira (2008) concluiu que numa parede que apresente trações e compressões em pontos totalmente distintos, contribui tanto para uma possível ruptura por tração como por compressão. Assim, a existência de

um diferencial de temperatura com as características definidas contribui em cerca de 50% para a ruptura global à tração de uma parede de alvenaria e em cerca de 5% para a ruptura por compressão.

Esta análise mostra que o fato de não se induzir um aumento do estado de tensão (temperatura média da parede mantém-se constante) torna a parede muito mais susceptível de fissurar, uma vez que apresenta tensões de tração que são muito prejudiciais para as paredes de alvenaria e que um simples diferencial de temperatura contribui em cerca de metade do valor limite que a parede suporta.

Numa parede simples com isolamento pelo exterior, facilmente se constata que a parede, independentemente da situação simulada, apresenta compressões em toda a sua espessura.

Concluiu que a existência da camada de isolamento térmico pelo exterior da camada de alvenaria é em todo benéfico para o melhor comportamento da parede, uma vez que o diferencial de temperatura não contribui para a ruptura por tração, que é a principal causa de fissuração da parede de alvenaria.

Na situação de parede dupla, cada camada está sujeita a tensões de compressão praticamente constantes, ou seja, a camada interior como se encontra do lado quente do isolamento térmico apresenta tensões mais elevadas. Assim, a existência de um diferencial de temperatura numa parede dupla (temperatura interior 25 °C e temperatura exterior 5 °C) contribui na ordem dos 20% para a ruptura global por compressão de uma parede de alvenaria.

Este valor passa para cerca de 30% quando se simula a parede numa situação típica de verão, ou seja, com uma temperatura exterior de 40 °C e interior de 20 °C. Este aspecto deve-se à temperatura a que se encontra a parede ter aumentado em média 30 °C, o que levou a uma alteração do estado de tensão em que se encontrava inicialmente.

Quando a parede se encontra sujeita a uma temperatura exterior de -10 °C e interior de 10 °C constata-se que a camada interior apresenta tensões de compressão e a camada exterior tensões de tração, devido à parede não se encontrar em expansão, isto é, não se provocou um aumento da temperatura inicial da parede (temperatura média 0 °C). Este aspecto leva a existência de um diferencial de temperatura que não provoca o aumento da temperatura média da parede dupla, contribua em cerca de 50% para a ruptura por tração e em 6% para a ruptura por compressão da parede de alvenaria.

Com base nas conclusões de cada um dos tipos de parede, efetuou-se uma comparação entre as três soluções, onde numa primeira análise a parede com isolamento pelo exterior será aquela que se comportará melhor perante um diferencial de temperatura de 20 °C em diferentes situações de temperaturas ambiente. Esta afirmação só será verdade se todas as exigências de execução forem convenientemente realizadas para que não ocorram outros tipos de anomalias.

Os resultados obtidos deste estudo resultam de uma primeira análise nesta abordagem conjunta da análise térmica com os problemas mecânicos de uma parede de alvenaria. Apesar de que com base neste trabalho ser possível retirar algumas conclusões acerca da contribuição da influência das variações de temperatura para o comportamento global da parede de alvenaria, é necessário ter alguma precaução na interpretação dos resultados. Por isso, pensa-se que haverá ainda muito a fazer neste domínio, uma vez que este trabalho representa o início de um longo curso sobre estes assuntos.

Paes e Carasek (2002) desenvolveram o estudo denominado Desempenho das Argamassas de Rejuntamento no Sistema de Revestimento Cerâmico, que apresentaram resultados de uma pesquisa experimental realizada para estudar os efeitos do gradiente térmico no sistema de revestimento cerâmico, avaliando especificamente a influência da argamassa de rejuntamento, bem como da variação na espessura das juntas de assentamento. Foram confeccionados quatro painéis verticais de revestimentos cerâmicos executados sobre um único tipo de substrato: emboço de argamassa aplicado sobre alvenaria de bloco cerâmico. Os referidos painéis foram submetidos a 20 ciclos de aquecimento e resfriamento, com temperatura variando de 23 - 33 °C (ambiente) a 60 - 70 °C. Após o aquecimento e resfriamento, foram feitas medições das movimentações. Ao final dos vinte ciclos, foram realizadas observações visuais, teste de percussão nos revestimentos e de resistência de aderência à tração das placas cerâmicas, além de uma completa caracterização dos materiais que compunham o sistema de revestimento. Os principais resultados obtidos mostraram que o tipo de argamassa de rejuntamento e as dimensões das juntas de assentamento influenciaram no desempenho dos revestimentos cerâmicos, quando estes são submetidos a gradientes de temperatura.

Ainda abordando o tema em estudo, Pinheiro et al. (2012) desenvolveram o estudo denominado Descolagem de um Revestimento Cerâmico em Fachada, onde se procedeu à análise das causas da

descolagem de um revestimento cerâmico de uma fachada. Procedeu-se à caracterização da situação existente e à descrição dos ensaios realizados. Propuseram-se soluções de reabilitação e elaboraram-se recomendações de aplicação.

Com vista à determinação das causas da queda do revestimento, realizaram-se ensaios de arrancamento “*in situ*”, ensaios de determinação da dilatação térmica linear e de determinação da dilatação convencional a umidade à água fervente sobre amostras retiradas das fachadas.

A determinação do coeficiente de expansão térmica foi efetuada sobre duas amostras de acordo com a ISO 10545-8. O ensaio consistiu no aquecimento das amostras entre os 20 °C e os 100 °C a uma velocidade de 5 °C / min.

A determinação da dilatação convencional por umidade com água fervente foi efetuada em 7 amostras de acordo com a ISO 10545-10.

Os ensaios de arrancamento visam avaliar as condições de aderência através de ensaios de tração. A resistência à tração foi obtida através da colagem de uma peça metálica à superfície das plaquetas, que foi depois sujeita a uma força perpendicular ao seu plano. Os ensaios de arrancamento foram precedidos de uma carotagem prévia. Nos locais onde as plaquetas cerâmicas se destacaram durante a carotagem, foram realizados ensaios no reboco de forma a avaliar a sua coesão interna / aderência ao suporte. A força necessária para provocar o arrancamento foi medida com um dinamômetro.

Nos resultados, os respectivos autores identificaram que os principais fatores que afetam a aderência de revestimentos cerâmicos colados são:

- as características das peças cerâmicas (rigidez, dimensões, cor, entre outros) que determinam as deformações a que estarão sujeitas e, conseqüentemente, as tensões que serão transmitidas ao suporte;
- a ação da temperatura, da umidade, dos ciclos de gelo-degelo e choque térmico que afetam a resistência mecânica dos sistemas de fixação;
- A aplicação em obra.

Pinheiro et al. (2012) observaram que o descolamento dos revestimentos cerâmicos deveu-se a uma deficiente concepção de projeto e a uma deficiente aplicação em obra.

A deficiente concepção traduziu-se na inadequada escolha dos revestimentos cerâmicos que, não são adequados à utilização em acabamentos exteriores de paredes. A elevada heterogeneidade das condições aderência e as rupturas adesivas na interface plaqueta cerâmica / cimento-cola e cimento-cola / suporte indiciam a existência de uma

deficiente aplicação em obra. A inexistência de um material de preenchimento das juntas entre ladrilhos permite a molhagem do suporte, prejudicando dessa forma a aderência.

Para reparação das anomalias, sugeriu-se a completa remoção das placas cerâmicas e a utilização de um material com características apropriadas à utilização em acabamentos exteriores de paredes. As juntas entre ladrilhos deveriam ser preenchidas. Deveriam ser executadas juntas de fracionamento para a redução do nível de tensões no revestimento.

O produto de colagem a utilizar deveria ser adequado ao uso previsto, ao tipo de placa, ao tipo de suporte e aplicado em rigoroso cumprimento das recomendações do Documento de Homologação.

O estudo sobre argamassas colantes denominado de Estudo da Resistência de Aderência de Argamassa Colante Exposta a Ciclos Higrotérmicos realizado por Lunardi e Pelisser (2012) foi efetuado para determinar a variação de resistência e aderência quando exposta a ciclos higrotérmicos, e objetivou reproduzir a ação das intempéries a que ficam expostos os revestimentos cerâmicos em fachadas. Foram analisadas no estudo três variáveis: a) concentração do polímero de EVA (acetato de vinila/etileno) em concentração de 5 e 10%; b) dois tipos de placas cerâmicas, uma classificada como porcelanato e outra como semi-gres; c) dois tipos de cura, uma em ambiente normal de laboratório e outra cura com ciclos de higrotérmicos, adotando dois dias de imersão em água e dois dias em estufa a $58\text{ }^{\circ}\text{C} + 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura medida na peça cerâmica) durante 20 dias. Os resultados mostraram que para cura normal, quanto maior o percentual de polímero na composição, e maior a absorção de água da placa cerâmica, maior será a resistência do sistema de revestimento. Para cura em ciclos higrotérmicos, foi observado uma redução significativa da resistência de aderência, atingindo valores próximos a zero, levando ao descolamento em alguns casos. Apesar dos resultados serem preocupantes, considerou-se que o ciclo escolhido foi agressivo, pois as tensões geradas foram elevadas, principalmente nas trocas de ciclo de estufa para ciclo submerso, onde as placas foram submersas antes do resfriamento, surgindo outra interferência: a do choque térmico. Dessa forma, para resultados complementares, será necessário refazer os ensaios com ciclos higrotérmicos menos agressivos.

Lunardi e Pelisser (2012) observaram que quanto às variáveis estudadas, através da análise dos resultados:

a) a concentração do aditivo melhorou a resistência de aderência, para a cura normal, para cura em ciclos higrotérmicos a maior concentração do aditivo não contribuiu para resistência de aderência da argamassa;

b) a placa cerâmica com maior absorção de água confere maior resistência de aderência ao sistema em cura normal, sendo que em cura submersa, a aderência foi tão baixa quanto para a placa com absorção de água menor;

c) a cura em ciclos higrotérmicos praticamente anulou a resistência de aderência das argamassas estudadas. Em situação real de exposição de uma fachada, em que a argamassa chegou a índice de resistências abaixo de 0,15 MPa, as placas cerâmicas sofreriam sério risco de descolamento;

d) a presença de água e temperatura na argamassa afeta muito a resistência de aderência, porém o ciclo adotado, devido ao grande impacto causado na resistência de aderência das argamassas, pode ser considerado agressivo.

Assim, estudos complementares com exposição a ciclos higrotérmicos diferentes podem proporcionar resultados mais conclusivos.

Roman et al. (2013) realizaram o estudo denominado Desenvolvimento de técnicas de avaliação e critérios de desempenho de materiais e componentes da Construção. O grupo desenvolveu grande número de pesquisas nessa área, visando à avaliação de normas existentes, assim como à criação de métodos de ensaios e coleta de dados de desempenho de sistemas de revestimentos, que possam auxiliar na elaboração de novas normas e na reformulação das normas existentes.

As pesquisas abordaram os seguintes temas: estudo da durabilidade da aderência de revestimentos cerâmicos; desenvolvimento de aparato de ensaio de cisalhamento para sistemas de revestimentos cerâmicos; e o desenvolvimento de metodologia de ensaio para avaliação da consistência de argamassas colantes nos estados frescos.

Neste estudo da durabilidade da aderência de revestimentos cerâmicos também era objetivo o desenvolvimento de metodologia para estimativa da vida útil das argamassas colantes, bem como a avaliação da durabilidade de sistemas de revestimentos cerâmicos com placas de grandes dimensões aplicadas com junta seca.

Para os ensaios de durabilidade neste respectivo trabalho foram submetidos painéis a ensaios climáticos e a ensaios de aderência por arrancamento.

Como resultados, os respectivos autores observaram que nos ensaios de durabilidade, quando o sistema é resfriado, as deformações parecem não sofrer influência do tipo de assentamento. Por outro lado, o aquecimento produz uma maior expansão no painel assentado com junta seca do que naquele assentado, usando-se o sistema tradicional. Quanto aos ensaios de

arrancamento, as altas temperaturas e umidades empregadas durante a primeira metade de cada ciclo, parecem ter beneficiado o desempenho do sistema cerâmico. Foi observado aumento na resistência ao arrancamento para a maioria dos painéis ensaiados durante 120 ciclos. Porém, verificou-se que, após os 120 ciclos, a resistência volta a diminuir.

Nos painéis revestidos com peças de maior dimensão, observou-se o inverso, a resistência ao arrancamento diminui após 120 ciclos. Nesses painéis, o beneficiamento da hidratação da argamassa colante parece não ter auxiliado nas condições de aderência do sistema. A forma de ruptura pode ser a responsável por essa diferença. Nos primeiros painéis, a ruptura ocorreu na superfície da cola ou na interface desta com o emboço. Para os painéis onde foram utilizadas placas cerâmicas maiores, observou-se a ocorrência de ruptura na interface entre o tardoz e a argamassa colante, retratando uma maior fragilidade dessa ligação para esses painéis. Portanto, o beneficiamento experimentado pelas camadas formadas por materiais cimentícios não influenciou no desempenho do sistema como um todo.

A escolha do sistema junta seca não parece ter influenciado estatisticamente a resistência ao arrancamento para os painéis e número de ciclos testados. Quanto ao desenvolvimento de aparato, optaram pela utilização do mesmo equipamento utilizado nos ensaios de arrancamento para a realização do ensaio de cisalhamento. A utilização desse equipamento permitiu uma melhor comparação entre os métodos. Mas para isso foi necessário o desenvolvimento de um suporte que mantivesse o substrato de concreto em posição vertical.

Para estudo e avaliação do ensaio, foi desenvolvido um programa experimental dentro da pesquisa que avaliava a durabilidade de aderência de revestimentos cerâmicos. Neste trabalho foram submetidas a ensaio peças cerâmicas coladas em substratos padrão de concreto, os quais foram submetidos a ciclos climáticos, em condições idênticas às dos painéis de alvenaria.

Como resultado, verificaram que há uma boa correlação entre as resistências de cisalhamento e de arrancamento à tração, bem como observaram que, com exceção de um conjunto de ensaios, a variação dos testes de cisalhamento foi significativamente menor do que as obtidas com os ensaios de arrancamento à tração.

3.10 NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS AO TEMA

3.10.1 Normas de desempenho

Segundo descrição da CBIC (2013), a norma de desempenho ABNT NBR 15575 tem por finalidade estabelecer parâmetros, objetivos e quantitativos que podem ser medidos. Dessa forma, segundo o respectivo autor, buscam-se o disciplinamento das relações entre os elos da cadeia econômica (rastreadibilidade), a redução das incertezas dos critérios subjetivos (perícias), a instrumentalização do Código de Defesa do Consumidor, o estímulo à diminuição da concorrência predatória e um instrumento de distinção das empresas.

Recentemente discute-se muito a utilização das normas de desempenho constituídas para assegurar aos usuários de edificações o cumprimento de seus requisitos no desempenho habitacional, pois a mesma determinou uma série de padrões para a eficiência das edificações, para motivar contribuições para a atualização tecnológica nesta área no País.

Para os consumidores, a norma vai ao encontro do que buscam na hora de adquirir seu imóvel, já que procuram conforto, estabilidade, vida útil adequada da edificação, segurança estrutural e segurança contra incêndios (CBIC, 2013).

A norma ABNT NBR 15575 (2013) foi escrita segundo modelos internacionais de normalização de desempenho. Ou seja, para cada necessidade do usuário e condição de exposição, surgem numa sequência os requisitos de desempenho, critérios de desempenho e respectivos métodos de avaliação.

O conjunto normativo compreende seis partes:

Parte 1: Requisitos Gerais;

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais;

Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos;

Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas;

Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas; e

Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Cada parte da norma foi constituída por elementos da construção, percorrendo uma série de exigências relativas à segurança (desempenho mecânico, segurança contra incêndio, segurança no uso e operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico e acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade,

conforto tátil) e sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e adequação ambiental) (CBIC, 2013).

E em relação ao tema em estudo, há abordagem específica na norma ABNT NBR 15575 – 4 em relação ao desempenho estrutural e ao requisito – estabilidade e resistência estrutural dos sistemas de vedação internos e externos, que tem como objetivo apresentar nível de segurança considerando-se as combinações de ações passíveis de ocorrerem durante a vida útil da edificação habitacional ou do sistema.

Sendo este conceito de sistema, definido por esta norma como: maior parte funcional do edifício. Conjunto de elementos e componentes destinados a atender uma macro função que o define (por exemplo, fundação, estrutura, pisos, vedações verticais, instalações hidrossanitárias, cobertura).

A norma de desempenho ABNT NBR 15575 - 1 (ABNT, 2013) enfatiza a durabilidade e a manutenibilidade, e descreve que “a durabilidade do edifício e dos seus sistemas é um requisito econômico do usuário, pois está diretamente associado ao custo global do bem imóvel”. A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional.

O período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender aos requisitos do usuário pré-estabelecidos é denominado de vida útil (ABNT, 2013).

Projetistas, construtores e incorporadores são responsáveis pelos valores teóricos de vida útil de projeto que podem ser ratificados por meio da consideração às normas brasileiras ou internacionais.

Não obstante, não podem antecipar ou se responsabilizar pelo valor atingido de vida útil, uma vez que este depende de fatores fora de seu domínio, como o apropriado uso e operação do edifício e de suas partes, a constância e efetividade das intervenções de limpeza e manutenção, alterações climáticas e condições de poluição local, modificações no entorno ao longo do tempo.

O valor atingido de vida útil será uma condição do valor teórico calculado como vida útil de projeto influenciado positivamente ou negativamente pelas ações de manutenção, intempéries e outros fatores internos de controle do usuário e externos (naturais) fora de seu controle (ABNT, 2013).

A norma ABNT NBR 15575- 1 apresenta uma tabela (tabela 2) que especifica o valor teórico para a vida útil de projeto.

A relação das normas de desempenho com o estudo está na ligação da avaliação de materiais a serem empregados em fachadas externas e a avaliação do desempenho destes quando submetidos às condições extremas de uso, simulando de modo acelerado o seu ciclo de vida útil e determinando o tempo de atendimento aos critérios definidos ao material na sua aplicação.

A norma estima tempos de duração de vida útil dos sistemas ou edificações, mas não determina os meios de garantir que os materiais cumpram seu papel neste período definido.

Neste ponto, há a necessidade de desenvolver métodos para avaliar os materiais em separado e em composição na formação de um sistema, para que consigam atingir o desempenho requerido.

Como vimos no item anterior, para a avaliação de sistemas de fachada, ainda não temos normas com a descrição de métodos com essa finalidade.

Tabela 2 - Vida útil de projeto (VUP)

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitários	≥ 20

Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

Fonte: ABNT, 2013.

3.10.2 Enquadramento normativo

Há um reduzido número de normas que definem procedimentos de ensaio para o envelhecimento artificial acelerado. No Brasil, não se evidenciou a existência de norma sobre este assunto. Em relação às normas internacionais, as que mais se relacionam ao estudo efetuado são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Enquadramento Normativo.

Organizaã o difusora das normas técnicas	Norma (código/ número)	Abordagem do tema em estudo
International Standards Organizations (ISO)	ISO 15686 - Buildings and constructed assets - Service Life Planning (2012)	<p>Descreve os procedimentos que facilitam as previsões de vida útil de componentes de construção, com base no desempenho técnico e funcional. Fornece uma estrutura geral, princípios e requisitos para conduzir e relatar tais estudos. Abrange a limitação de vida útil devido à obsolescência ou outros estados de desempenho não mensuráveis ou imprevisíveis.</p> <p>A abordagem é feita baseada no Método Fatorial, que inclui uma introdução para previsões de longo prazo, baseada em exposição, desempenho de avaliação e estimativas dependentes de fatores aplicáveis para ajustar à vida útil de referência.</p>
Society for Testing and Materials (ASTM)	ASTM E 632 - Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life Building Components and Materials (1996)	<p>Abrange as etapas que devem ser seguidas no desenvolvimento de ensaios acelerados para prever a vida de serviço e de materiais e componentes de construção. Embora a análise matemática necessária para a previsão de vida útil não sejam descritas em detalhe; a análise determinística ou probabilística pode ser utilizada. Apresenta uma abordagem da sistemática para a previsão de vida em uso, incluindo a identificação das informações necessárias para o desenvolvimento de testes acelerados, a interpretação dados e seu o relato.</p>
	ASTM C 481 - Standard Method of test for Laboratory Aging of Sandwich Constructions (1999)	<p>Abrange a determinação da resistência dos painéis de sanduíche para as condições de exposição graves como medido pela alteração das suas propriedades selecionadas do material após a exposição. O ciclo de exposição ao qual a amostra é submetida é um teste arbitrário não tendo nenhuma correlação com as condições de intemperismo natural.</p>

Tabela 03 - Enquadramento Normativo (continuação)

European Organization for Technical Assessment (EOTA)	EOTA Guidance Document GD 003 - Assessment of Working Life of Products (1999)	O documento aborda orientações técnicas sobre o tema avaliação e/ou previsão de vida útil de produtos em uso. Ele teve como objetivo de alcançar uma abordagem técnica coerente e harmonizada entre os diferentes grupos de trabalho, e para limitar a quantidade de longo prazo do envelhecimento a ser realizados durante as avaliações. Qualquer referência a produtos específica, utilização de fatores de degradação, métodos de ensaio, etc. são dados apenas como exemplo e não podem ser tomados como definitivos. Cita que é tarefa do grupo de trabalho identificar os fatores mais adequados a levar em consideração para o produto específico e a sua utilização em avaliação.
	EOTA Technical Report TR 010 - Exposure Procedure for Artificial Weathering (2004).	Especifica os procedimentos de exposição para intemperismo artificial, os aparelhos e as condições para expor corpos de prova, sendo um "sistema" montado curado de um kit aplicado de impermeabilização de coberturas líquido, fontes de luz no laboratório, temperatura elevada, umidade e condições de molhamento. Com distinção feita de dois conjuntos diferentes de condições de exposição, definidos como "condições M" e "condições S", com base nas diferentes zonas climáticas de uso na Europa, quer para aparelhos com fonte de luz xenon arco ou fonte de luz UV fluorescente.

Fonte: O Autor, 2014.

Entretanto, os documentos normativos apresentados não atendiam completamente ao estudo proposto por serem muito generalistas ou se referirem a outros materiais diferentes do estudado, pelo que observamos em alguns estudos sobre durabilidade já publicados (Sousa, 2008; Sá, 2005).

Dos trabalhos consultados, que serviram de base para o desenvolvimento dos procedimentos de ensaio deste estudo, destacamos os apresentados no item 4.1.

Como vimos no item anterior, para a avaliação de sistemas de fachada, ainda não temos normas com a descrição de métodos com essa finalidade.

4 METODOLOGIA

4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Para alcançar os objetivos propostos nesta dissertação que consistiu em estudar a degradação acelerada do sistema de revestimento cerâmico (placa cerâmica, polímero (argamassa) e base), que buscou qualificar e quantificar a resistência a variação de temperatura e umidade e o estabelecimento de parâmetros de comportamento de uso, realizou-se um planejamento onde foram definidas como variáveis independentes do experimento:

- tempo de exposição ao ensaio de degradação em três níveis;
- variação do percentual de polímero na argamassa em três níveis.

Como variável de resposta foi analisada o seguinte item:

- resistência de aderência à tração dos sistemas de revestimento cerâmico.

Para a definição destas variáveis, foram identificados os principais elementos, suas características e seu grau de influência no sistema de revestimento de fachada. Assim, desconsideramos o rejunte no estudo, pois a norma ABNT NBR 14081-4 (ABNT, 2012) aplicada para o ensaio de determinação da resistência de aderência à tração, não considera este componente na constituição do corpo de prova.

Dessa forma, foram avaliados o conjunto substrato, argamassa e placa de revestimento submetido a condições extremas de temperatura e umidade dentro de uma câmara construída para simular as condições climáticas selecionadas que interferem no desempenho da fachada. Esse conjunto depois de submetido à degradação passou pelo teste de arrancamento para avaliação do desempenho ao analisar-se as variáveis: argamassa e tempo de exposição.

Nas tabelas 4 e 5, é apresentado o detalhamento do planejamento experimental, que se caracterizou como um fatorial 2^2 com um ponto central.

Tabela 4 - Variáveis do Experimento

Variáveis	Nível -1	Nível 0	Nível +1
Concentração de polímero na argamassa (%)	3%	5%	7%
Tempo de Exposição	20 dias	45 dias	73 dias

Fonte: O Autor, 2014.

Tabela 5 - Matriz Planejamento

Número de Ensaio	Concentração de polímero na argamassa (%)	Tempo de Exposição (dias)	Número de ciclos	Estimativa de anos de uso da fachada*
1	3	20	443	~5
2	3	20	443	~5
3	3	20	443	~5
4	5	20	443	~5
5	5	20	443	~5
6	5	20	443	~5
7	7	20	443	~5
8	7	20	443	~5
9	7	20	443	~5
10	3	45	996,75	~12
11	3	45	996,75	~12
12	3	45	996,75	~12
13	5	45	996,75	~12
14	5	45	996,75	~12
15	5	45	996,75	~12
16	7	45	996,75	~12
17	7	45	996,75	~12
18	7	45	996,75	~12
19	3	73	1617	18
20	3	73	1617	18
21	3	73	1617	18
22	5	73	1617	18
23	5	73	1617	18
24	5	73	1617	18
25	7	73	1617	18
26	7	73	1617	18
27	7	73	1617	18

Obs.: com base nos cálculos apresentados no item 4.3.2.

Fonte: O Autor, 2014.

Para a seleção dos materiais para compor o corpo de prova, optou-se pela escolha de materiais padrão e disponíveis no mercado. Dessa forma, a argamassa empregada foi uma composição comercial atualmente disponível no mercado, na qual foi adicionado o polímero PVA (acetato de polivinila) e HEC (hidroxietil celulose).

Pelas limitações do equipamento e devido ao tempo de ensaio de exposição, restringiu-se a seleção de uma amostra de revestimento cerâmico. Assim, optou-se por selecionar o material do grupo de absorção BIb, que é o mais comumente aplicado em fachadas na região.

Nos itens a seguir serão detalhados os materiais e equipamentos utilizados, métodos de ensaio de tensão de arrancamento utilizados e ensaios de caracterização física e microestrutural realizados complementarmente para verificação da interferência dos componentes do sistema para o desempenho da fachada.

4.2 ENSAIOS DE DEGRADAÇÃO ACELERADA

4.2.1 Estrutura do ensaio

Para a avaliação da degradação acelerada de revestimentos cerâmicos em fachada foi necessário construir um sistema, sendo a argamassa o principal produto responsável pela adesão. Essa modelação física do comportamento do sistema de revestimento cerâmico de fachada, no que se refere a desempenho de durabilidade, contemplou os condicionantes impostos por este estudo a realizar sobre as amostras no teste em laboratório. Os condicionantes determinados foram: umidade e temperatura.

A norma ABNT NBR 14081-2 (ABNT, 2012) define o tipo de substrato-padrão para ensaios de aderência; este substrato-padrão deve ter uma espessura mínima de 20 mm e dimensões mínimas de 250 mm x 500 mm, de modo que as placas cerâmicas de cada série completa de ensaio caibam em um mesmo substrato. Para atender essas condições foi utilizado substrato de cimento padronizado da ABCP indicado pela ABNT NBR 14082:2004.

O condicionamento dos corpos de prova na câmara de envelhecimento acelerado (figura 9) e o seu manuseio necessitou que se limitassem o peso e dimensões dos corpos de prova a ensaiar.

O modelo do corpo de prova adotado neste estudo para simular o sistema de revestimento cerâmica aderente a fachadas é formado por placas de cimento sobre as quais se colaram, utilizando argamassa de três formulações distintas, e um tipo de placa cerâmica do tipo semi-gres

(Classe BIb), abrangendo grupo de absorção de água da faixa de $0,5\% < A.A < 3\%$, conforme classificação definida na norma ABNT NBR 13818 (ABNT, 1997).

Figura 9 - Amostras no interior da câmara de envelhecimento acelerado.



Fonte: O Autor, 2014.

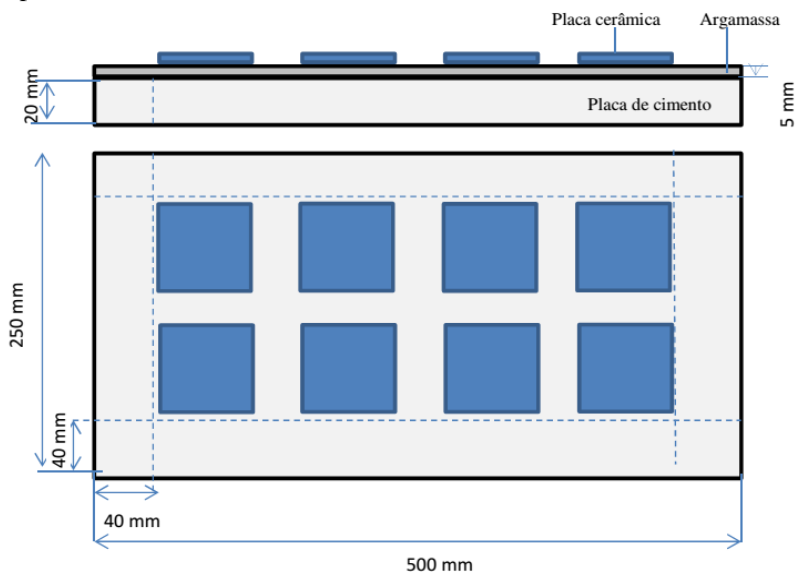
Foi selecionado este tipo de revestimento, pois segundo a tabela de especificações de produto apresentada no anexo A, tem-se duas possibilidades de revestimento cerâmico para áreas externas de fachada, que são semi-gres e porcelanatos. Entretanto, em consulta do autor a empresa cerâmica de grande porte, obteve-se a informação que os produtos mais comumente aplicados são os semi-gres, pois os tamanhos conhecidos como pastilhas são de fácil aplicação, tem um custo menor de investimento na obra em comparação ao porcelanato e tem mais facilidade de assentamento. Dessa forma, foi definido no estudo como placa cerâmica, o tipo semi-gres. A seleção deste produto difere do material indicado pela norma ABNT NBR 14081-4, que indica a aplicação de placa cerâmica da classe BIb, que apresentam absorção de $4\pm 1\%$. Entretanto atualmente a placa cerâmica indicada pela respectiva norma é aplicada em revestimentos de paredes internas, o que foge do escopo deste trabalho. Neste trabalho, foi priorizado o argumento de especificação técnica dos fabricantes para aplicação em fachadas externas.

A distribuição adotada para os revestimentos cerâmicos sobre a superfície das placas de cimento baseou-se nos requisitos determinados na norma ABNT NBR 14081-4 (ABNT, 2012), conforme representado na figura 10.

Esta distribuição dos revestimentos cerâmicos faz-se necessária devido à utilização do dinamômetro para a realização do ensaio de arrancamento (figura 11).

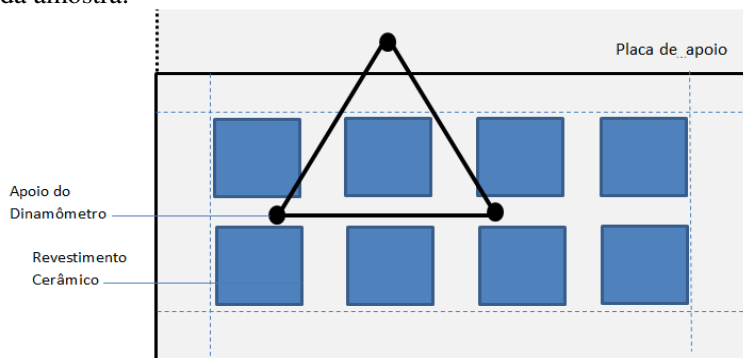
As argamassas utilizadas neste estudo pertencem às classes ACII e ACIII, sendo somente estas recomendadas para aplicação em ambiente externo, de acordo com a classificação definida na norma ABNT NBR 14081 – 1 (ABNT, 2012).

Figura 10 - Representação esquemática do corpo de prova para o experimento.



Fonte: O Autor, 2014.

Figura 11 - Esquema dos apoios do aparelho de tração sobre a superfície da amostra.



Fonte: O Autor, 2014.

Na tabela 6, se apresentam as principais características citadas nesta norma.

O sistema de revestimento cerâmico em teste foi formado pela placa de cimento com 20 mm de espessura, por uma camada de argamassa com 5 mm, da classe ACII ou ACIII, (atendendo requisitos definidos na norma ABNT NBR 14081 – 1 (ABNT, 2012) e pelo revestimento cerâmico, do grupo de absorção BIb, que estão representados na figura 10.

Tabela 6 - Características fundamentais das argamassas colantes.

Requisito	Método de ensaio		Unidade	Critério		
				ACI	ACII	ACIII
Tempo em aberto	ABNT NBR 14081-3		min	≥ 15	≥ 20	≥ 20
Resistência de aderência aos 28 dias, em função do tipo de cura	Cura normal	ABNT NBR 14081-4	MPa	≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura submersa			≥ 0,5	≥ 0,5	≥ 1,0
	Cura em estufa				≥ 0,5	≥ 1,0

Fonte: ABNT, 2012.

As principais características do revestimento cerâmico utilizado neste estudo estão resumidas nas tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Grupos de absorção de água de placas cerâmicas.

Processo de Produção	Absorção de água (AA) para o Grupo				
	I AA<3%	IIa 3%<AA<6%	IIb 6% AA <10%	III AA>10%	
Extrudado (A)	AI	AIla	AIlb	AIII	
Prensado (B)	BIa AA<0,5%	BIb 0,5% < AA < 3%	BIla	BIlb	BIII

Fonte: ABNT, 1997.

Tabela 8 - Características físicas do revestimento cerâmico comercial aplicado na amostra.

Característica	Resultado
Designação	Revestimento cerâmico prensado esmaltado
Dimensão de Fabricação	45 x 150 x 6,5 mm ³
Dimensão nominal	4,7 x 15 cm ²
Absorção de água e grupo de absorção	3,0 % - BIb
Expansão por umidade - média	0,03 mm/m
Módulo de resistência à flexão - média	45,5 N/mm ²

Fonte: O Autor, 2014.

4.2.2 Preparação dos corpos de prova

4.2.2.1 Condicionamento dos materiais

Disponibilizaram-se os três componentes principais do sistema de revestimento cerâmico: placas de cimento, argamassa e revestimentos cerâmicos, no Laboratório de Materiais de Construção Civil – IDT/UNESC. Antes do uso, estes materiais ficaram armazenados em local seco e protegidos da ação de intempéries e sem contato direto com pisos e paredes, para a preservação da qualidade, conforme estabelecido na norma ABNT NBR 14081 – 1 (ABNT, 2012).

4.2.2.2 Preparação da argamassa

As três composições de argamassa seguiram os mesmos critérios de preparação pelo próprio fabricante e foram formuladas de acordo com a seguinte proporção de matérias-primas:

Material fixo composto por 20% de cimento e 80% de areia com 1% de HEC – hidroxietil celulose em relação à massa de cimento. Nesta mistura realizaram-se as variações de acréscimo de 3, 5 e 7% de PVA – acetato de polivinila em relação à massa de cimento, compondo 3 misturas de argamassas.

As condições ambientais do laboratório atenderam parcialmente os requisitos estipulados na norma ABNT NBR 14081 – 2 item 5.1 –

Condições ambientais do Laboratório, no período da aplicação, sendo: $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ de temperatura ambiente e velocidade do ar máxima de $0,15\text{ m/s}$.

Essas condições foram monitoradas por meio de termômetro e a velocidade do ar foi assegurada pelo procedimento ser executado em ambiente fechado sem circulação de ar.

As argamassas foram preparadas em laboratório de acordo com o descrito na norma ABNT NBR 14081-2 (ABNT, 2012). A norma estabelece que a mistura do material anidro com a água deve ser realizada da seguinte maneira:

- a) os materiais e a aparelhagem devem permanecer no laboratório durante pelo menos 12 h antes do início dos ensaios, com exceção do substrato-padrão;
- b) antes do início dos ensaios, transferir o conteúdo total de argamassa colante para um saco plástico maior, limpo, seco e resistente, fechar a boca do saco, evitando a saída de ar, e agitar energicamente por 3 min aproximadamente, para dispersar os aglomerados. Aguardar aproximadamente 2 min após a agitação para a execução dos ensaios;
- c) pesar $2,500\text{ kg} \pm 0,001\text{ kg}$ de argamassa colante;
- d) pesar a massa de água de amassamento de acordo com as indicações do fabricante, que era 20% do peso total de argamassa em peso de água potável. A água deve estar com temperatura igual a $23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- e) verter a água no recipiente de mistura limpo e seco;
- f) colocar o material seco sobre o líquido, de modo contínuo dentro de um período de 30 s e acionar o misturador na velocidade baixa;
- g) misturar por 30 s e desligar o misturador;
- h) raspar toda a superfície interna do recipiente e da pá e reunificar a massa em um intervalo de 60 s;
- i) misturar por mais 60 s na velocidade baixa.

Deixar o material em maturação, coberto por pano úmido, durante intervalo de tempo especificado pelo fabricante, que foi de 15 min. Em seguida, ligar o equipamento e misturar na velocidade baixa por 15 s.

Foi preparada quantidade necessária de argamassa utilizando um misturador planetário, tipo batedeira, disponível no Laboratório de Materiais de Construção Civil – IDT/UNESC, utilizado em velocidade baixa durante os tempos determinados na norma.

4.2.2.3 Aplicação da argamassa e colagem dos revestimentos cerâmicos

Em cada uma das 12 placas de cimento, aplicou-se a pasta de argamassa com base nas orientações da norma ABNT NBR 14081-2 (ABNT, 2012). Sobre esta foram colocadas as amostras dos revestimentos cerâmicos preparados com o tamanho de 47 mm². O tamanho da peça cerâmica aplicado foi adaptado, não seguiu o indicado na norma ABNT NBR 14081-4, pois foi selecionado o tipo de placa atualmente utilizado no mercado, que mede 47 x 100 mm². A placa foi seccionada para a execução do ensaio de arrancamento e resultou em amostras do tamanho acima citado.

Foram posicionadas oito peças cerâmicas limpas e secas sobre a argamassa estendida em camada lisa para ampliar a superfície de contato da placa cerâmica com a argamassa conforme figura 10; a camada de argamassa teve altura de $5 \pm 0,5$ mm. As placas cerâmicas com tamanho de 47 mm² foram distribuídas de modo que ficaram a uma distância de 5 cm entre elas e de 2,5 cm entre as arestas das placas e a borda mais próxima do substrato padrão. Cada peça cerâmica foi carregada e centralizada com peso padrão de 2 kg durante 30 s.

Após a colocação das peças cerâmicas, deixou-se aproximadamente 1 cm de camada ao redor da peça cerâmica e retirou-se a camada excedente. Realizou-se esta operação no máximo 10 min após o final da operação de colocação das peças cerâmicas.

Ressalta-se que a aplicação de 8 peças cerâmicas por substrato ao invés de 10 peças conforme indicados na ABNT NBR 14081-4 (ABNT, 2012), foi adotado em virtude da necessidade de acoplamento do modelo de dinamômetro digital disponível para o estudo, conforme explanado no item 4.2.1.

A distribuição das peças é ilustrada nas figuras 10, 11 e 12.

Figura 12 - Fotografia de corpo de prova do tipo argamassa com 5% PVA e tempo de exposição 0.



Fonte: O Autor, 2014.

4.2.2.4 Condições de Cura

Durante 28 dias após o assentamento das placas, os substratos ficaram em cura em laboratório, com temperatura média de 24 °C.

Os conjuntos formados por substrato-padrão, argamassa e peças cerâmicas foram estocados em local não confinado, com separação mínima de 20 mm entre eles, e permaneceram na posição vertical por 24 h. Após este período foram estocados na posição vertical ao serem submetidos à condição de cura em ambiente.

4.2.2.5 Definição dos ensaios

Realizaram-se ensaios sobre 12 tipos de amostras diferentes que se distinguiram no tempo de permanência na máquina de degradação e na classe de argamassa aplicada, conforme apresentado no planejamento experimental.

Os ensaios realizados compreenderam os ensaios de envelhecimento acelerado e os de arrancamento. Os ensaios de arrancamento foram realizados ao final da etapa do ensaio de envelhecimento acelerado.

4.3 ENSAIOS DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

O ensaio de envelhecimento acelerado consistiu em submeter os corpos de prova a condições extremas de temperatura e umidade em utilização de modo a provocar a sua rápida degradação com o uso do equipamento de teste desenvolvido pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil – IDT/UNESC.

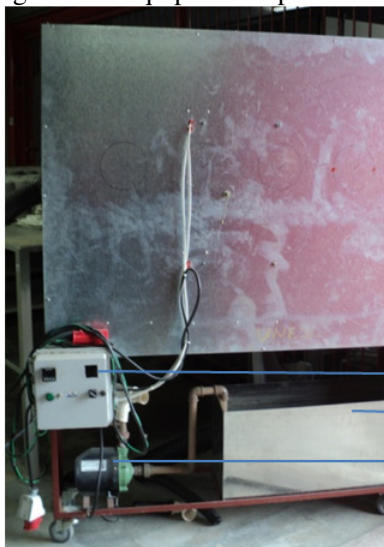
4.3.1 Aparelhos e utensílios

As amostras, devidamente preparadas foram acondicionadas nas condições laboratoriais normalizadas, durante um período de 28 dias. Após esse período, submeteram-se as amostras a ensaios de envelhecimento acelerado, colocando 09 placas no suporte da câmara de envelhecimento acelerado, com a face revestida voltada para o centro.

Os valores limites da temperatura foram estabelecidos de modo a simular as condições ambientes (25 °C) e a maior temperatura medida em revestimentos em fachada no sul de SC (70 °C).

Para a realização do ensaio de envelhecimento acelerado, foi construída uma câmara programável (figura 13 e 14) no Laboratório de Materiais de Construção Civil – IDT/UNESC.

Figura 13 - Equipamento para teste de degradação acelerada – vista A.



Legenda:	
1	Quadro de comando
2	Reservatório de água
3	Bomba hidráulica

Fonte: O Autor, 2014.

Figura 14 - Equipamento para teste de degradação acelerada – vista B.



Legenda:	
1	Aspersão de água superior
2	Resistência Elétrica superior
3	Suporte para amostra superior
4	Aspersão de água inferior
5	Entrada de ar
6	Resistência Elétrica inferior
7	Suporte para amostra inferior

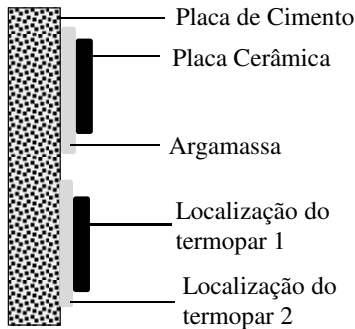
Fonte: O Autor, 2014.

O equipamento funcionou para as seguintes condições de ensaio:

- Temperatura: entre $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Diâmetro dos furos de pulverização: 1,5 mm;
- Pulverização: entre 0 e 30 L/min;
- Tempo da obra antes de requer manutenção: 18 anos (baseado na expectativa regional do mercado da construção civil).

Para os testes foram utilizados termopares do tipo K, aplicados na amostra, sendo o de número um aplicado na superfície da placa cerâmica, e o segundo inserido na argamassa conforme esquema apresentado na figura 15. Os dados de temperatura foram coletados com o uso do software Feldchart com coleta de dados a cada minuto durante todo o tempo do ensaio.

Figura 15 - Localização dos termopares durante teste de degradação acelerada (vista lateral da amostra).



Fonte: O Autor, 2014.

A pulverização foi controlada pelo tempo de vazão da bomba de água, onde seu funcionamento foi monitorado por meio do relatório do software Feldchart. As ocorrências de problemas de pulverização e aquecimento poderiam ser identificadas por alterações nos apontamento de temperatura no relatório. Para o monitoramento visual da pulverização de água, pode-se observar pelo visor lateral disponível no equipamento.

O equipamento se baseia em sistemas de controle com aquecimento, resfriamento e patamares, bem como a variação da temperatura.

O equipamento foi construído de tal forma que durante o aquecimento circula ar aquecido de forma uniforme em toda a câmara, garantindo igualdade de temperatura em todas as peças. O resfriamento é realizado aspergindo-se água em toda a câmara, mantendo-se a temperatura inferior uniforme. Sendo o controle da temperatura registrado pelo software Feldchart e monitorado pelos relatórios de leitura da temperatura.

4.3.2 Procedimento de ensaio

Na execução do ensaio, seguindo as determinações da norma ABNT NBR 14081 – 4 quanto à preparação da amostra, foi estendida a argamassa preparada conforme item 6.2.3.3.

Os corpos de prova devidamente preparados conforme item 6.3.2 foram submetidos aos ciclos de envelhecimento acelerado.

O ciclo de envelhecimento acelerado foi dividido nos ciclo de chuva (resfriamento) e aquecimento, sendo os tempos em cada um destes ciclos definidos por estudos prévios do autor apresentados no apêndice C e pelas operações de cálculos, que serão apresentados a seguir.

- Definição do ciclo de chuva

Para a definição deste ciclo foram utilizadas informações da média meteorológica histórica obtida da Estação Meteorológica da EPAGRI Urussanga:

- a chuva anual na região sul é de 1500 L/m²;
- 90 dias de temperatura extrema por ano;
- 18 anos de tempo de obra em uso.

Para a definição do número de ciclos, adotaram-se os 90 dias por ano de temperaturas extremas e o número de anos de durabilidade da fachada e calculou-se:

$$\frac{90 \text{ dias}}{\text{ano}} \times 18 \text{ anos} = 1620 \text{ dias}$$

Considerando o número de dias iguais a ciclos, tem-se:

$$1620 \text{ ciclos} \times \frac{65 \text{ min}}{\text{ciclo}} \times \frac{1 \text{ dia}}{1440 \text{ minutos}} \cong 73 \text{ dias}$$

-Definição do ciclo de resfriamento

Considerando o índice pluviométrico de 1500 L/m².ano, e a área de 10 peças de substrato padrão com área de 25 x 50 cm², resultando em área de 1,25m² (área total das placas submetidas à exposição), tem-se:

$$\frac{1500 L}{ano.m^2} \times 1,25m^2 = 1875 L/ano$$

Definindo assim o ciclo de resfriamento como:

$$\frac{1875 L}{ano} \times 18 anos = 33750 L$$

Para 1620 ciclos, considerando a medição de vazão de bomba de 0,07 L/s, tem-se:

$$\frac{33750L}{1620 ciclos} = 20,8 \frac{L}{ciclo} \cong 5 \text{ min de bomba ligada}$$

- Definição do ciclo de calor

Para a definição do ciclo de calor, foi realizado um estudo de secagem do conjunto substrato de cimento, argamassa e revestimento cerâmico, que foi submerso em água a temperatura ambiente para sua saturação e posteriormente monitorado o tempo de secagem até massa constante com a utilização de estufa a 65 °C e pesagem em balança.

Neste estudo prévio, verificou-se que a amostra durante o tempo de secagem de uma hora alcançou o peso constante, conforme resultados apresentados no apêndice C.

Para a conclusão do ensaio foram realizados 1620 ciclos com duração de 65 min cada, atingindo um tempo de ensaio total de 1633,5 h.

A figura 16 representa o gráfico da variação da temperatura e da ação da “chuva” durante os ciclos programados na câmara de envelhecimento acelerado.

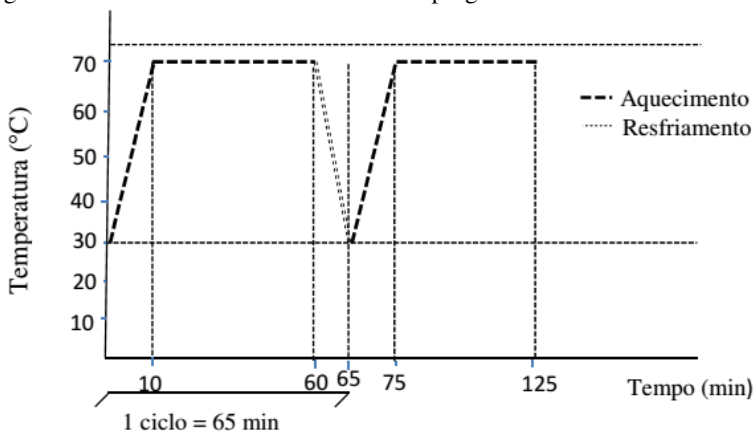
4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO / ARRANCAMENTO

A tensão de aderência pode ser quantificada por meio de ensaios de arrancamento. Nos ensaios de arrancamento por tração determina-se, então, a força necessária para provocar a ruptura de uma determinada área de revestimento. O ensaio de arrancamento consiste, essencialmente, na determinação da força de tração máxima que é

necessária aplicar numa área definida de revestimento aplicado sobre o suporte.

Este ensaio serve para avaliar a interação entre as camadas constituintes do sistema de revestimento da fachada (substrato, argamassa e placa cerâmica), determinando o valor da tensão de aderência que este sistema suporta, assim como qual a interface deste sistema possui menor resistência às tensões atuantes no conjunto.

Figura 16 - Ciclo de chuva e resfriamento – programado.



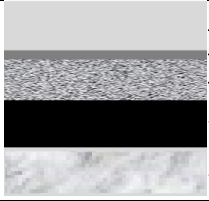
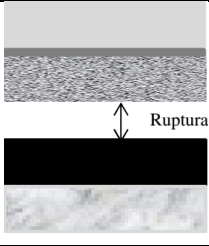
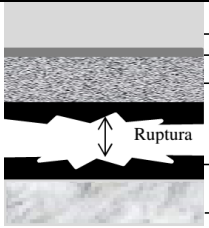
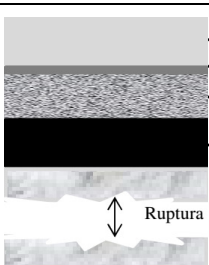
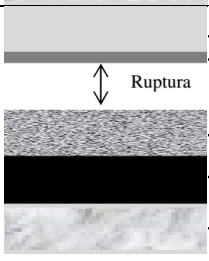
Fonte: O Autor, 2014.

Durante o ensaio também foi avaliado o tipo de ruptura, que é classificada de acordo com a ABNT NBR 14084 - 04 como:

- S – ruptura no substrato;
- S/A – ruptura na interface argamassa e substrato;
- A – ruptura na camada de argamassa colante;
- A/P – ruptura na interface argamassa e placa cerâmica;
- F – falha na colagem da peça metálica.

Os tipos de rupturas são apresentados na tabela 9.

Tabela 9 - Tipos de ruptura (Adaptada da ABNT NBR 14081 – 4).

Tipo	Ilustração
Componentes do Sistema de Revestimento Cerâmico de Fachada	 <ul style="list-style-type: none"> — Peça Metálica — Cola Epóxi — Placa Cerâmica — Argamassa — Substrato
Ruptura na interface argamassa e placa cerâmica	 <ul style="list-style-type: none"> — Peça Metálica — Cola Epóxi — Placa Cerâmica — Argamassa — Substrato
Ruptura na Argamassa	 <ul style="list-style-type: none"> — Peça Metálica — Cola Epóxi — Placa Cerâmica — Argamassa — Substrato
Ruptura no substrato	 <ul style="list-style-type: none"> — Peça Metálica — Cola Epóxi — Placa Cerâmica — Argamassa — Substrato
Ruptura na interface Peça metálica/cola e placa cerâmica	 <ul style="list-style-type: none"> — Peça Metálica — Cola Epóxi — Placa Cerâmica — Argamassa — Substrato

Fonte: ABNT, 2012.

4.4.1 Enquadramento normativo

A norma brasileira que regula os procedimentos do ensaio de determinação de resistência à tração das argamassas é a ABNT NBR 14081 – 4 (ABNT, 2012): Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas - Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração.

O método requereu que estendesse a argamassa preparada baseando-se na ABNT NBR 14081 – 2 na direção longitudinal sobre o substrato – padrão conforme descrito no item 6.2.3.3 desta norma.

4.4.2 Aparelhos e utensílios

O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 14084 -4. Em cada placa cerâmica foi colada com adesivo epóxi uma placa metálica com a mesma dimensão da peça de placa cerâmica. Com a utilização de um dinamômetro com capacidade de 5 kN e velocidade de 250 ± 50 N/s foi realizado o ensaio de arrancamento por tração (figura 17).

Além do aparelho de medição, houve a necessidade de utilização nos ensaios: pastilhas metálicas quadradas, com 50 mm de lado e 10 mm de espessura, providas numa das faces, de uma rosca perfeitamente centrada para acoplamento da máquina de tração, conforme definido no item 4.2 da ABNT NBR 14081 – 4 (ABNT, 2012), apresentado na figura 20.

Foi utilizada também cola de alta resistência à base de resina epoxídica para colagem da pastilha metálica sobre a superfície do revestimento cerâmico.

4.4.3 Procedimento de ensaio

Os ensaios de determinação da tensão de aderência das argamassas foram realizados sobre os corpos de prova em etapa posterior à finalização da etapa de envelhecimento acelerado, ou seja, após a terceira e última retirada das peças. Durante este tempo, as amostras da primeira e segunda retiradas ficaram acondicionadas no laboratório num ambiente atmosférico monitorado a 23 ± 5 °C de temperatura.

A preparação para os ensaios de determinação da resistência a tração iniciou-se com a colagem, devidamente centrada sobre os

revestimentos cerâmicos, das pastilhas metálicas com uma cola de alta resistência (fig. 18). Deixou-se a cola secar no mínimo durante 48 h.

Após a secagem da cola, as placas foram submersas em água, durante 48 h.

Antes de se iniciar o arrancamento, verificou-se o zero no dinamômetro (figura 19). Iniciou-se a medição até que se verificou a ruptura de contato do revestimento com o suporte. Leu-se no mostrador do dinamômetro e registrou-se o valor da força máxima exercida. Também se registrou a tipologia da ruptura observada.

Apesar da norma ABNT NBR 14081-4 (ABNT, 2012) definir dez valores para que a partir destes, calcular o valor final da resistência à tração, foram realizadas apenas 08 medições por cada tipo de amostra estudada. O tamanho da câmara de envelhecimento limitou o número de amostras a serem submetidas ao ensaio.

Assim considerou-se a força de ruptura, F , a média das medições efetuadas em cada amostra.

Para a expressão do resultado, calculou-se a tensão de ruptura (f_t) de cada placa cerâmica, mediante a equação 02:

$$f_t = T/A \quad (02)$$

onde:

f_t é a tensão de ruptura, arredondada à segunda decimal, expressa em megapascals (MPa);

T é a força de ruptura, expressa em newtons (N);

A é a área da placa cerâmica, considerada igual a 2.209 mm^2 , expressa em milímetros quadrados.

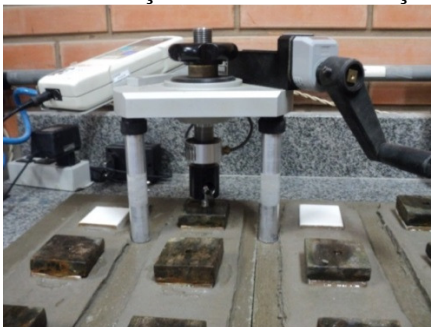
4.5 CARACTERIZAÇÕES FÍSICA E MICROESTRUTURAL

4.5.1 Análise de dilatação térmica

Esta técnica foi utilizada para a determinação do coeficiente de expansão térmica (CET). O CET foi identificado para as três composições de argamassa, da placa cerâmica e do substrato padrão ABCP. As amostras de argamassa foram obtidas seccionando as camadas de argamassa das amostras de estudo no ciclo zero (sem degradação) para a retirada de material para preparação do formato necessário por meio de lixamento. As amostras com 12 mm de diâmetro e cerca de 12 mm de altura foram secadas em um secador estacionário a

120 ± 5 °C por 2 h. A seguir, cada uma das amostras, na forma de bastonete, foi submetida ao ensaio de dilatometria em um dilatômetro NETZSCH modelo DIL 402C, com taxa de aquecimento de 7,5 °C.min⁻¹ e em um intervalo de temperatura de 20 a 1000 °C para determinação do CET.

Figura 17 - Aparelho de medição da resistência à tração.



Fonte: O Autor, 2014.

Figura 18 - Pastilha metálica cilíndrica aplicada com cola de alta resistência.



Fonte: O Autor, 2014.

Figura 19 - Ajuste do equipamento no início do ensaio de arrancamento.



Fonte: O Autor, 2014.

4.5.2 Análise microestrutural

As amostras do ciclo zero e do ciclo final foram selecionadas e embutidas em resina polimérica, lixadas e polidas com pasta de alumina com granulometria de 1 μm . Após o processo de polimento, as amostras foram submetidas a um ataque ácido em uma solução contendo 2% em volume de HF por 25 s e recobertas com uma fina camada de ouro. A microestrutura foi analisada em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) JEOL modelo JSM – 6390 Scanning Electron Microscope, que realizou as micrografias da interface revestimento, polímero e substrato para as referências de argamassa na característica inicial (sem degradação) e final (ciclo completo de degradação).

Esse equipamento, equipado com uma microssonda EDS da empresa Thermo Electron Corporation, modelo 6733A, permitiu a realização de análise química em pontos específicos.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise das amostras foi realizada a partir de ensaios de resistência a aderência, análise microestrutural e análise dilatométrica.

Neste capítulo são apresentados os resultados finais, as conclusões com base na análise estatística dos ensaios realizados e as discussões. No apêndice A é apresentado o tratamento estatístico da análise de variância (ANOVA) que comprova que a diferença entre os valores encontrados são reais e demonstra a confiabilidade do estudo realizado, quando o valor de P é inferior a 0,005. Ressaltando-se que a ANOVA para este estudo apresentou um valor de P de $8,12 \times 10^{-20}$. Também foram realizados testes t para comprovar se havia diferença entre os resultados de resistência de aderência das amostras e validar as informações apresentadas na figura 20. Consideraram-se como variáveis significativas o tipo de argamassa e o tempo de exposição.

Os resultados individuais de cada ensaio estão apresentados no apêndice B.

5.1 ENSAIOS DE DEGRADAÇÃO ACELERADA

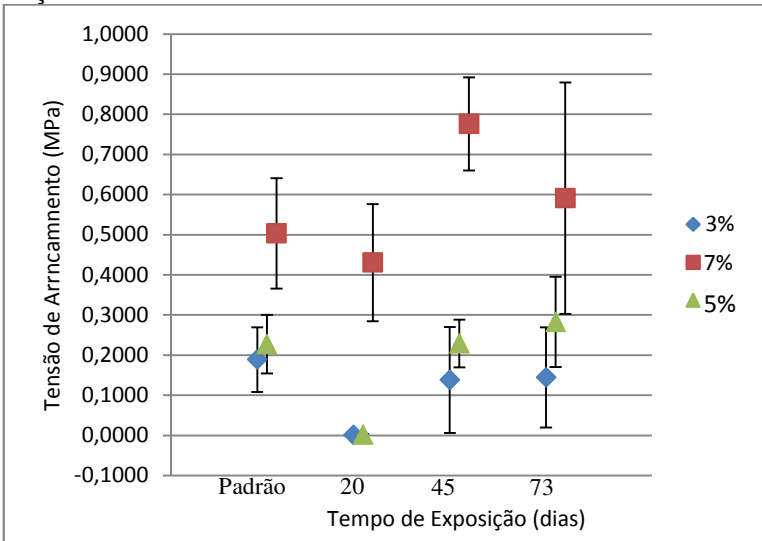
Na figura 21 apresentam-se os resultados de tensão de aderência das amostras em função do tempo de exposição destas à câmara de envelhecimento acelerado.

Analizando os valores das amostras com argamassa 3% e 5% de PVA plotados no gráfico da figura 20, verifica-se que os resultados das medições de tensão de aderência apresentam comportamento de desempenho similar.

A única amostra que apresentou desempenho de acordo com o previsto para argamassa de classificação AC II, adequada para ambiente externo, foi a argamassa com 7% de PVA. O resultado da tensão de aderência chegou a valores superiores a 0,5 MPa após 45 dias de exposição às condições de umidade e variação de temperatura impostas pela câmara de envelhecimento acelerado.

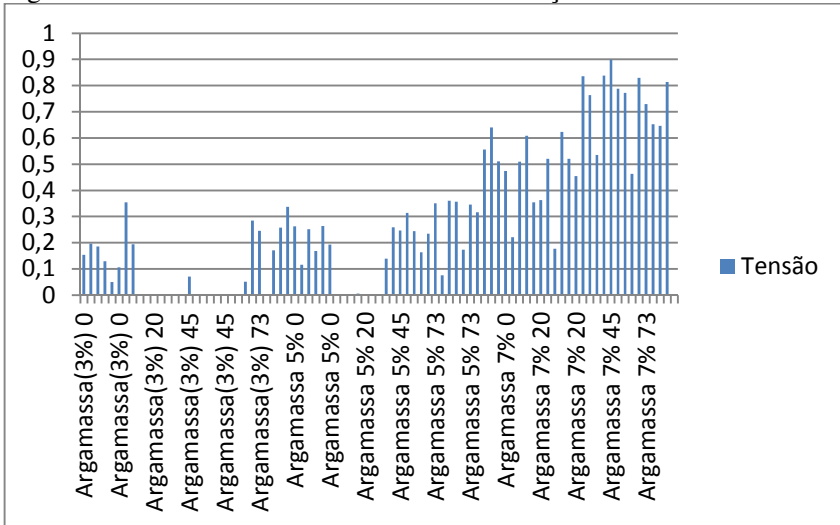
Na figura 21, podem-se observar detalhadamente as leituras realizadas para as amostras testadas. A argamassa com 7% de PVA apresentou resistência de aderência superior a 0,5 em amostras não submetidas a exposição (tempo 0), com crescimento destes valores de resistência de aderência ao longo do tempo de exposição na câmara de envelhecimento acelerado.

Figura 20 - Resultados de resistência de aderência – médio e faixa de variação do resultado.



Obs.: Padrão (sem exposição à câmara de envelhecimento).
 Fonte: O Autor, 2014.

Figura 21 - Valores de tensão de aderência alcançados nas amostras.



Fonte: O Autor, 2014.

Também se pode observar que nas amostras com concentração de polímero abaixo de 7% PVA, a exposição à câmara de envelhecimento acelerado promoveu perda da aderência da placa cerâmica. Tal efeito é explicado pela ação do HEC, conforme comportamento similar identificado por Silva e Roman (2001), que constataram em seus estudos que pelo respectivo polímero modificar a consistência da fase aquosa das pastas, ele retarda as reações de hidratação nas primeiras idades. No entanto, os mesmos autores citam que por ele reter água no sistema, o polímero promove maior maturidade das pastas cimentícias em idades mais avançadas. Tal comportamento é observado nos resultados deste estudo para as amostras destas mesmas concentrações de polímeros que permaneceram na câmara de envelhecimento até o tempo de exposição de 73 dias. Sendo que essa maturidade da pasta cimentícia, promove uma recuperação da resistência à tensão alcançando os patamares de resultado similares aos obtidos na condição inicial.

Segundo Oliveira (2004), a ação do polímero interfere na capacidade de retenção de água e maior flexibilidade da argamassa no estado fresco, e pode propiciar maiores resistências mecânicas e durabilidade no estado endurecido; Assim, observamos que quanto maior a concentração do polímero PVA, melhor foi o desempenho da amostra quanto a resistência à aderência, como observamos a amostra 7% PVA em comparação as concentrações inferiores de 5% e 3%.

A placa cerâmica adotada para o sistema de revestimento em teste também interferiu na capacidade de retenção de água, já que foi uma amostra de semi-gres com absorção de água no máximo de 3%. Segundo Oliveira, neste tipo de placa cerâmica, a pasta de cimento da argamassa não é succionada para dentro dos capilares superficiais, havendo um acúmulo de água na interface formando uma fina película, por efeito parede. Com a secagem há formação de filme polimérico nesta interface o que garante a aderência do sistema.

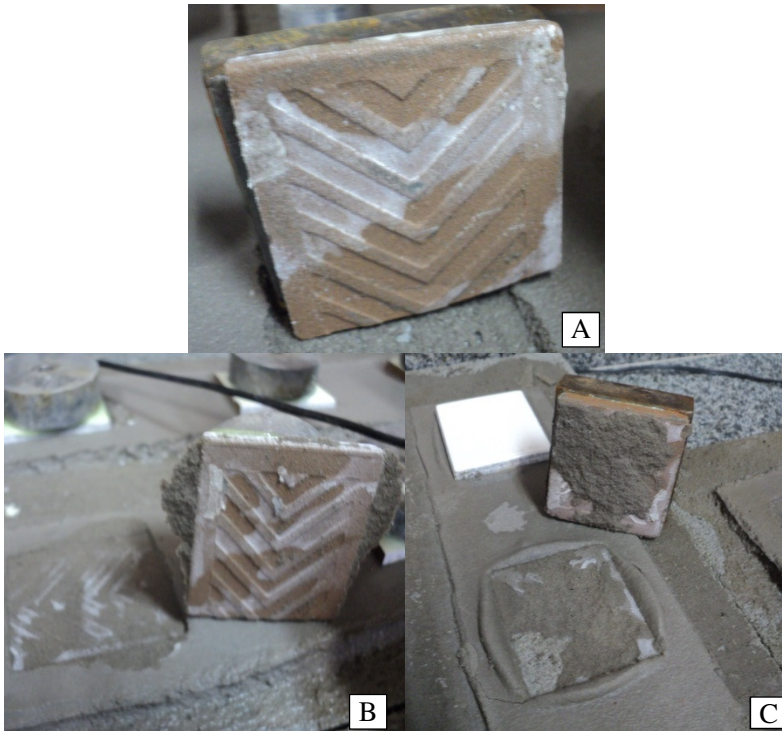
Além da maior concentração de polímero, a amostra preparada com argamassa 7% PVA, apresentou outro fator que interferiu no seu desempenho, que foi consistência da argamassa após mistura da com água. As argamassas mais consistentes mantiveram a espessura da camada de argamassa durante a aplicação das peças cerâmicas, enquanto as outras, durante a aplicação, geraram um “afundamento” da peça e alteração da espessura da camada de argamassa.

Quanto ao tipo de ruptura ocorrida no arrancamento, observamos que amostras preparadas com as argamassas com concentração 3 e 5% de PVA apresentaram a ruptura na interface argamassa e placa cerâmica, denominado de ruptura adesiva.

Para as amostras com a argamassa com concentração de 7% PVA, apresentaram a ruptura da argamassa colante, denominado de ruptura coesiva. Este tipo de ruptura ocorre no interior da argamassa e tal comportamento explica-se pela ação da maior concentração de polímero PVA, que atua como ligante e no auxílio do processo de hidratação do cimento, gerando um sistema mais resistente, com a ligação dos materiais e que requer mais força para ser arrancado. Alguns exemplos dessas rupturas são apresentados na figura 22.

Figura 22 - Exemplos de rupturas ocorridas nas amostras.

(A: ruptura argamassa/substrato (amostra 5%); B: ruptura argamassa/substrato (amostra 3%); C: ruptura argamassa/ placa cerâmica (7%)).



Fonte: O Autor, 2014.

5.2 ANÁLISE DE DILATOMETRIA

Analisando-se os coeficientes de expansão térmica linear apresentados na tabela 10, percebe-se uma variação de até 56,64% entre os materiais, que quando submetidos à mesma condição de temperatura geram tensões na fachada. Segundo descrito por Sá (2005), como o suporte e os vários componentes do sistema de revestimento cerâmico aderente ficam restringidos, resulta na instalação de tensões no revestimento e no suporte, que geram tensões de compressão ou de tração na placa cerâmica e tensão de corte e normais na argamassa colante e nas interfaces revestimento-argamassa colante.

Percebem-se duas forças antagonicas atuando na resistência de aderência. A primeira força aparece devido à tensão térmica que causa estresse pelos materiais terem coeficiente de expansão térmica diferentes. Teoricamente com o passar do tempo ou com maiores números de ciclos a força de adesão tende a cair.

Por outro lado, é bem estabelecido na literatura (Romano, 2004), que com o passar do tempo aumenta a resistência dos artefatos cimentícios, devido a uma série de reações que ocorrem no corpo de prova. Esse aumento pode ser de 10 a 30% em um ano, dependendo do cimento, após segue o processo de hidratação ou ganho de resistência de forma reduzida.

Considerando esses dois aspectos e os resultados observados, se especula que até o segundo ciclo de exposição a primeira força teria sobrepujado a segunda. Com o passar do tempo, com o aumento da resistência devido à “cura” da argamassa, ocorreu um aumento na resistência ao descolamento.

Tabela 10 - Coeficientes de expansão térmica linear dos materiais da amostra.

Material	Coeficientes de expansão térmica linear (°C⁻¹)
Placa Cerâmica – Semi-gres	8,06 x 10 ⁻⁶
Argamassa 3% PVA	14,23 x 10 ⁻⁶
Argamassa 7% PVA	13,58 x 10 ⁻⁶
Substrato de cimento	13,37 x 10 ⁻⁶

Fonte: O Autor, 2014.

Entre outros trabalhos similares (Oliveira, 2004; Jenni, 2005), também foi observado tal comportamento. Essa característica dificulta sobremaneira o aspecto de estabelecer uma normatização segura para testes de degrabilidade acelerada para conjuntos de “fachada externa”.

5.3 ANÁLISE MICROESTRUTURAL

Foram avaliados corpos de prova da amostra em condição inicial (tempo de exposição zero) e condição final para as variáveis argamassa e tempo de exposição, objetivando verificar a interferência da concentração de polímero e do tempo de exposição à umidade e temperatura na alteração da microestrutura e comportamento de interação entre os materiais. E com isso, conseguir verificar a ocorrência da formação de filme polimérico que interfere no processo de hidratação do cimento e na melhora da aderência das placas cerâmicas.

Entretanto não foi possível validar as tendências de comportamentos identificadas em trabalhos similares como o de Jenni et al. (2005), que descreve que o polímero (látex) fica disperso homogeneamente na matriz de cimento - polímero, o que provoca uma melhoria de ambas as propriedades de coesão e adesão finais.

A avaliação da microestrutura das amostras realizada não permitiu gerar conclusões sobre a influência da avaliação da concentração de polímero na formação ou diminuição de poros na estrutura. E também não foi possível fazer a relação da porosidade com os resultados da resistência de aderência. Como se pode observar nas micrografias apresentadas na figura 24.

Figura 23 - Micrografias das amostras.

(a) Amostra argamassa 3% - tempo de exposição 0

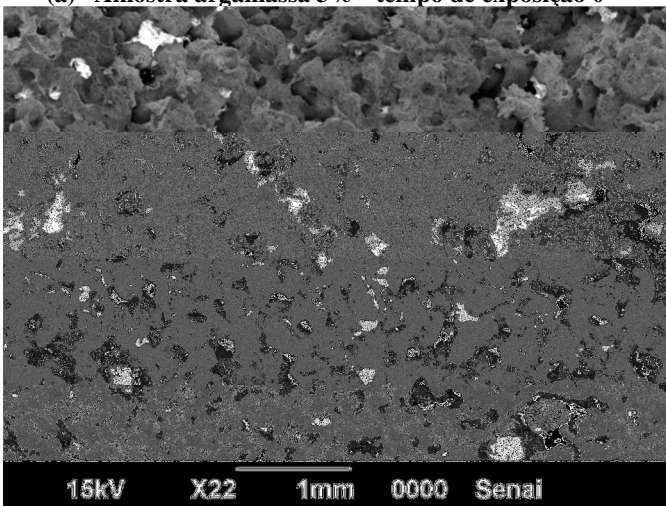
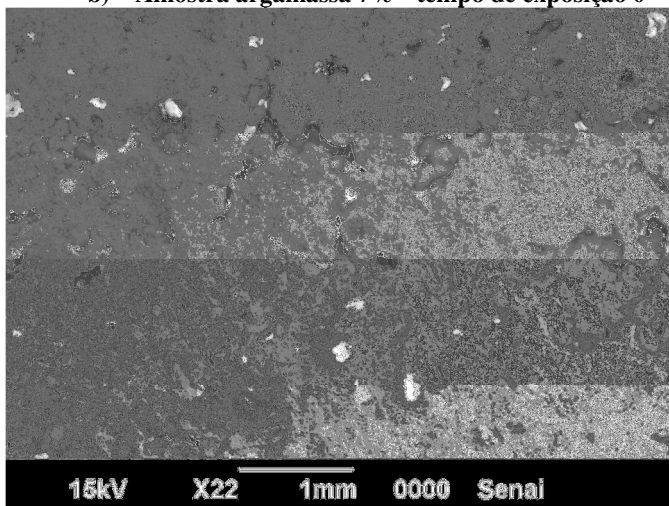


Figura 23 – Micrografias das amostras (continuação).

b) Amostra argamassa 7% - tempo de exposição 0



c) Amostra argamassa 3% - situação exposição final

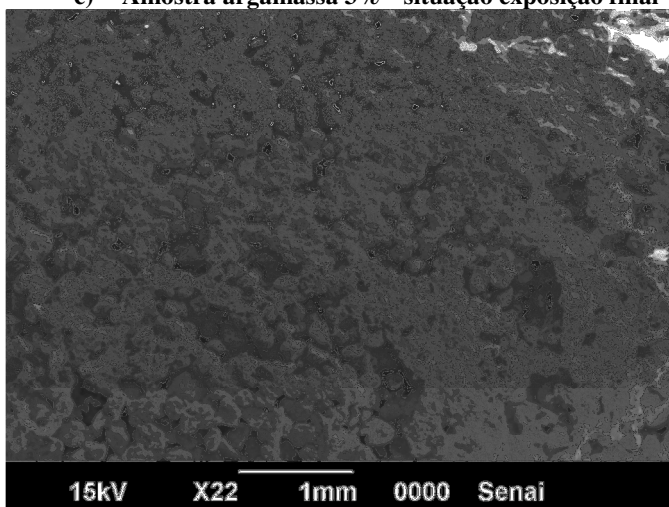
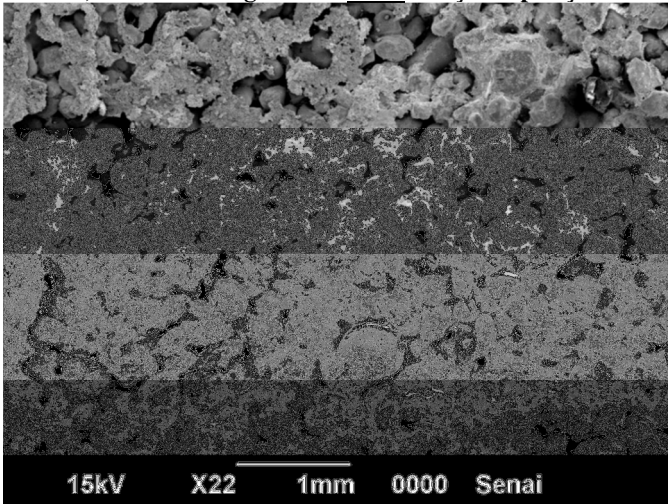


Figura 23 – Micrografias das amostras (continuação).

d) Amostra argamassa 7% - situação exposição final

Fonte: O Autor, 2014.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia desenvolvida demonstrou ser aplicável e apta a gerar resultados para quantificar e qualificar o sistema de revestimento em análise. Entretanto alguns cuidados são necessários para minimizar as fontes de erro na etapa de preparação da amostra, como o estudo prévio para garantir a consistência e a espessura da camada de argamassa. E ainda garantir a uniformidade da aplicação da camada de argamassa com a utilização de um gabarito ou a aplicação da pasta de argamassa com o lado dentado da desempenadeira para a uniformidade da altura.

Outro ponto a ser avaliado para a metodologia é o tempo de teste, que pode estar vinculado aos requisitos estabelecidos na norma de desempenho que estabelece um tempo de vida útil de projeto ≥ 40 anos. Sendo necessário reestabelecer um novo tempo de duração do teste para essa condição.

Quanto ao equipamento desenvolvido para simular a degradação acelerada, após ajustes iniciais, apresentou uma performance ideal para garantir a continuidade do teste ao longo de todo o tempo de exposição planejado para o estudo. E o consideramos validado para a aplicação em outros estudos de continuidade deste tema.

Com base nos resultados alcançados, concluímos que a argamassa é o fator crítico para o desempenho do sistema de revestimento cerâmico para fachada. O percentual de polímero nela contido é o determinante para garantir a resistência de aderência do conjunto. Observamos que a presença do PVA promove a melhora nos valores de resistência de aderência à tração; e que isso é proporcional ao aumento de sua concentração; quanto maior for esta, melhor a resistência à tração.

O estudo também permitiu verificar o comportamento do sistema de revestimento cerâmico de fachada ao longo do tempo de exposição às condições degradantes; e constatamos que o sistema apresenta baixa resistência de aderência a tração nos tempos iniciais de exposição; considerando que neste período a resistência de aderência à tração é frágil pois não houve tempo suficiente para ocorrer as reações de hidratação do cimento. Com o passar do tempo de exposição, a ação do calor e da saturação de água reforçam as reações de hidratação do cimento o que resulta numa mudança do comportamento, demonstrando o aumento da resistência de aderência à tração, o que é denominado de comportamento reversível.

Com base nessas informações podemos presumir que o comportamento dos sistemas de revestimentos cerâmicos de fachada terão baixa resistência nos tempos iniciais de aplicação e que este sistema pode ao longo do tempo, devido as reações de hidratação do cimento, causadas pela ação da chuva e potencializadas pelo calor, melhorar a resistência de aderência à tração e atender aos requisitos de desempenho esperados.

Os materiais quando expostos as alterações de temperatura podem desencadear reações de dilatação ou retração térmicas, mas com a adequada ligação promovida pela argamassa, as tensões resultantes das diferenças de coeficiente de expansão térmica linear podem ser suprimidas e manter o a aderência do sistema de revestimento de fachada.

O desempenho da fachada esta ligado aos parâmetros de seleção dos materiais, principalmente na seleção da argamassa correta para assentamento das placas cerâmicas. Cabe destacar que o desempenho da fachada esta vinculado também a correta preparação da base, da preparação e aplicação da argamassa e das técnicas de assentamento da placa cerâmica. E que as falhas nestas operações põem em risco o alcance das propriedades previstas dos materiais utilizados.

As instruções repassadas pelos fabricantes para o preparo da argamassa com diferentes teores de polímeros tem em comum a

mesma faixa de volume de água a ser adicionada. Isto induziu a utilização do mesmo volume de água para todas as formulações. Entretanto, as propriedades foram prejudicadas pelo fato de que a diferença apresentada na alterou a espessura da camada de argamassa.

Dessa forma, para a aplicação em fachadas externas objetivando manter a aderência do conjunto ao longo do tempo de vida útil de projeto, deve-se aplicar argamassas com teores superiores a 7% de PVA que apresentem resultados de tensão de aderência superiores a 0,5 MPa.

6 CONCLUSÃO

A metodologia aplicada no estudo alcançou resultados contemplados em normas que estabelecem os critérios de aplicação e desempenho dos componentes de fachada.

Dentro dos parâmetros testados o tempo de ensaio não foi suficiente para determinar uma previsibilidade de tempo de vida útil da fachada.

As amostras submetidas à exposição na câmara de degradação apresentaram valores de queda da resistência de aderência até o tempo de exposição de 20 dias; apresentando um comportamento reversível no tempo de exposição de 45 dias, com o aumento da tensão de aderência.

Dentro das variáveis testadas pode-se observar que as argamassas com as concentrações menores que 7% de PVA não atendem o especificado em norma em relação à resistência de aderência.

A alteração da concentração de polímeros realizada na argamassa não geraram alterações na porosidade que pudesse ser correlacionada ao desempenho da tensão de aderência.

Nesse estudo desenvolveu-se um método para avaliar a degradação acelerada do sistema de revestimento cerâmico: placa cerâmica, argamassa e base. Para tal, estabeleceram-se ensaios onde se variou a temperatura e a umidade simulando condições aceleradas de degradação deste sistema.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para futuros trabalhos sugere-se avaliar o sistema de revestimento de fachada em tempos de exposição mais longos, que venham a verificar situações de degradação das propriedades de resistência de aderência.

Sugere-se ainda a avaliação de parâmetros do comportamento reológico da argamassa, com vista a manter o mesmo padrão de consistência de em diferentes composições.

8 REFERÊNCIAS

ABITANTE, A. L. R. **Normalização, características e propriedades componentes cerâmicos para revestimento de pisos e paredes:** Criciúma, Cecrisa, 1996. Apostila Cecrisa Revestimentos Cerâmicos S.A., 38p.

ALMEIDA, A. E. F. S.; SICHIERI, E. P. **Propriedades microestruturais de argamassas de cimento portland com adições minerais e poliméricas utilizadas na fixação de porcelanato. Cerâmica.** V52,n.323.p.174-179, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v52n323/32086.pdf>>. Acesso em 10 maio de 2013.

AMARAL, L. S. **Arquitetura e arte decorativa do azulejo no Brasil.** Disponível em <http://www.belasartes.br/revistabelasartes/downloads/artigos/2/arq_e_arte_decorativa_do_azulejo_no_brasil.pdf>. Acesso em 20 fevereiro de 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). D4798 / D4798M. **Standard practice for accelerated weathering test conditions and procedures for bituminous materials (Xenon-arc method).** Pennsylvania, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C481 – 99. **Standard test method for laboratory aging of sandwich constructions.** Pennsylvania, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E632-82. **Standard practice for developing accelerated tests to aid prediction of the service life of building components and materials.** Pennsylvania, 1996.

ARAÚJO, G. A. B. C. **Contribuição ao estudo das propriedades de argamassas de saibro da região de Maceio (AL) para revestimentos.** 1995. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós – Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-4 – **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas**. Parte 4: Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13755. **Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante**. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13817. **Placas cerâmicas para revestimento – classificação**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13818. **Placas cerâmicas para revestimento** - especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-1 – **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas**. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14081-2 – **Argamassa colante industrializada para assentamento de placas cerâmicas**. Parte 2: Execução do substrato-padrão e aplicação da argamassa para ensaios. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575 – 1. **Edificações habitacionais – Desempenho**. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA RVESTIMENTO (ANFACER). **História da cerâmica**. Disponível em <<http://www.anfacer.org.br/site/default.aspx?idConteudo=157&n=Hist%C3%B3ria-da-Cer%C3%A2mica>>. Acesso em 15 de maio de 2014.

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE INDUSTRIAIS DE CERÂMICA E CONSTRUÇÃO (APICER). **Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos**. Coimbra, 2003.

BARLETA, J. C. **Procedimento experimental e numérico para a avaliação da resistência à fadiga de sistemas de revestimento**. Universidade de Brasília – Departamento de Engenharia e Ambiental. Brasília. 2007

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. **Produção de revestimentos cerâmicos de para paredes de vedação em alvenaria: diretrizes básicas**. São Paulo: EPUSP, 1997. Disponível em: <<http://pcc2436.pcc.usp.br/PDF/BT246.pdf>>. Acesso em 20 de janeiro 2013.

BAUER, R. J. F. **Falhas em revestimento**. In: BAUER, L. A. F. (Coord). **Materiais de Construção 2**. 5ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.p.887-929.

BAUER, R. J. F; RAGO, F. **Expansão por umidade de placas cerâmicas para revestimento**. Cerâmica Industrial, n.5, Maio/ Junho, 2000. Água Branca: SP

BORGES, E. V. **Revestimento externo de argamassa em substrato cerâmico: influência da variação térmica na resistência mecânica**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.Porto Alegre, 2010.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. – Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

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

CAMPANTE, E. F.; SABBATINI, F. H. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2001.

CARVALHO, W. A.; SILVA, S. R. **Defeitos em revestimento cerâmico de fachada**. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – Universidade Católica do Salvador, 2010.

CIRNE, L. S. R.; OLIVEIRA, F. L.; DUMÊT, T. B. **Levantamento das principais patologias de revestimentos de fachada de edifícios na cidade de Salvador**. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2006.

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL ASSESSMENT (EOTA). **Guidance Document GD 003 – Assessment of working life of products**. Bruxelas, 2004;

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL ASSESSMENT (EOTA). **Technical Report TR 010 – Exposure procedure for artificial weathering**. Bruxelas, 2004.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de argamassas e revestimentos: Estudos e procedimentos de execução**. 221p. 1a.ed. Editora PINI. São Paulo, 1994.

FONTENELLE, M. A. M. **Estudo das causas dos descolamentos de revestimento cerâmico em fachadas e a retroalimentação do projeto SBQP** 2009. Disponível em: <<http://www.arquitetura.eesc.usp.br/ocs/index.php/SBQP2009/SBQP2009/paper/view/90>>. Acesso em 02 novembro 2012.

FRITZE, P. **Deformabilidad y resistencia al agua de los adhesivos C1 y C2 según las normas EN 12004 y EN 12002**. In: World Congress on Ceramic Tile Quality, 7, Castellon (Spain), 2002. Proceedings...Castellon: Cam. Of. Com. Ind. Nav./Col. Of. Ing. Sup. Ind., 2002.

GRANATO, J. E. **Patologia das construções – Fachadas**. Disponível em <<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf>>. Acesso em 20 outubro 2012. Trocar para

GROFF, C. **Revestimentos em fachadas: Análise das manifestações Patológicas nos Empreendimentos de Construtora em Porto Alegre**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2011.

HEROLD, H. **Fixing of stoneware "porcelanic" tiles by means of ceramic tile adhesives modified with redispersible polymer powder.** In: World Congress on Ceramic Tile Quality, 6, Castellon (Spain), 2000. Proceedings...Castellon: Cam. Of. Com.Ind.Nav./Col.Of.Ing.Sup.Ind., 2000, vol.3.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON). **Argamassas.** Disponível em <http://aquarius.ime.eb.br/~moniz/matconst2/argamassa_ibracon_cap26_apresentacao.pdf>. Acesso em 27 janeiro 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) ISO 6241– **Performance standards in building** - Principles for their preparation and factors to be considered. Genebra, 1984.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 15686-2 – **Buildings and constructed assets – Service life planning** – Part 2: Service life prediction procedures. Genebra, 2012.

JENNI, A.; HOLZER, L.; ZURBRIGGEN, C.; HERWEGH, M. **Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars.** Cement and Concrete Research vol.35, 2004, p.35-50.

JENNI, A.; HOLZER, L.; ZURBRIGGEN. C.; HERWEGH, M. **Changes in microstructures and physical properties of polymer-modified mortars during wet storage.** Cement and Concrete Research vol.36, 2005, p.79-90.

JOHN, V. M.; PILLEGGI, R.G. **Consórcio setorial para inovação em tecnologia de revestimento de argamassa: experiências e principais resultados.** In: CONGRESSO NACIONAL DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, 2., 2007, Lisboa: APFAC.

JOHN, V. M.; SATO, N. M. N. **Durabilidade dos componentes da construção.** Coletânea Habitare – vol. 7 – Revista Construção e Meio Ambiente. ANTAC: Porto Alegre, 2006.

LAVELLE, J. A. **Acrylic latex-modified portland cement.** ACI Materials Journal, Jan-Feb. 1998, p.41-48.

LUNARDI, S.; PELISSER, F. **Estudo da resistência de aderência de argamassa colante exposta a ciclos higrótérmicos**. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Disponível em <http://repositorio.unesc.net/handle/1/76/browse?value=Lunardi%2C+Samira&type=author>, acessado em 08/11/2012.

MARANHÃO, F. L.; COSTA E SILVA, A. J.; MEDEIROS, J. S.; BARROS, M. M. S. B. **Influência do tipo de argamassa colante e do revestimento na microestrutura e na resistência de aderência**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5, 2003, São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2003, p.405-504.

MASUERO, A. B.; GEYER, R. M. T. **Princípios da teoria da aderência aplicados a materiais cerâmicos e concretos**. In: JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, 27, 1995. Tucumán: Laboratorio de Estructuras, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologia de La Universidad Nacional de Tucumán, 1995. p.413-422.

MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. São Paulo: EPUSP, 1999. Boletim Técnico n.246. Disponível em: <http://publicacoes.pcc.usp.br/PDF/BT246.pdf> Acesso em 20 de janeiro 2013.

OHAMA, Y. **Polymer-modified mortars and concretes**. In: RAMACHADRAN, V.S. (Ed.) Concrete Admixtures Handbook. New Jersey: Noyes Publications, 1984.

OLIVEIRA, J. **Estudo das propriedades de argamassas colantes submetidas à saturação e secagem**. 2004. 165f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

OLIVEIRA, J.; SILVA, D. A.; GÓMEZ, L. A. **Efeito da saturação e secagem no comportamento de materiais cimentícios modificados com polímeros**. IBRACON Materials Journal, vol.1, 2005, p. 59-74.

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

PAMESA. **Manual de assentamento de revestimentos cerâmicos**
Disponível em http://www.pamesa.com.br/site/repository/pdf/pdf_1287081136.pdf >
Acesso em 11 março 2013.

PEREIRA, E.; COSTA, M. **Argamassa**. Disponível em
<http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/a/ad/TC_034_Argamassas_Nayara_Klein.pdf> Acesso em 11 março 2013.

PEREIRA; F. D. G. **Influência das variações de temperatura no desempenho de fachadas de alvenaria**. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Departamento de engenharia Civil. Porto, 2008.

PINHEIRO; D. S.; LOPES; L. M.; BRAGANÇA; M.; AGUIAR; BARROSO; J. L. **Descolagem de um revestimento cerâmico em fachada**. Universidade do Minho. Departamento de Engenharia civil. Disponível em <repositorium.sdum.uminho.pt/.../Patorreb>. Acesso em 20 outubro de 2012.

PORTOBELLO. **Tabela de especificação de produtos**. Disponível em
<http://www.portobello.com.br/templates/source/50/files/tabela_simplificada.pdf>. Acesso em 26 janeiro 2014.

ROMAN, H. R.; ALARCON, O.; SILVA, D. A.; ROMEN, L. M. F.; SEGAVE, A. M. **Desenvolvimento de técnicas de avaliação e critérios de desempenho de materiais e componentes da construção**, Coleção Habitare. Vol.3, Normalização e Certificação na Construção Habitacional. Disponível em:
<http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/desenvolvimento_urbano/habitacao/Estudo_desempenho_revestimento_ceramico.pdf>. Acesso em 20 junho 2013.

ROMANO, C. A. **Tecnologia do Concreto**. CEFET PR. 2004
Disponível em <<http://pessoal.utfpr.edu.br/amacinrm/tecc-epc/arquivos/Apostila01.pdf>> . Acesso 12 fevereiro 2014.

SÁ, A. V. **Durabilidade de cimentos-cola em revestimentos cerâmicos aderentes de fachada**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Departamento de engenharia Civil. Porto, 2005.

SABBATINI, F. H; BARROS, M. M. S. B. **Recomendações para produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria**. São Paulo: EPUSP, 1990. (Relatório Técnico R06/90 – EP ENCOL-6. Agosto, 2001)

SILVA, C. O. **Análise crítica dos requisitos e critérios de qualidade da argamassa colante**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP, 2003.

SILVA, D. A.; ROMAN, H. R. **Caracterização microestrutural de pastas de cimento aditivadas com polímeros HEC e EVA**. In Simpósio Brasileiro de Tecnologias das Argamassas, 4, 2001, Brasília (DF). UnB- PECC/ANTAC, 2001, p.15-41.

SILVEIRA, M. C. **Histórico dos revestimentos cerâmicos**. Disponível em
<<http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arqtema/ceramica/principal7.htm>>. Acesso em 11 junho 2013.

SOUZA, D. A. **Placas de porcelanato de grandes dimensões no revestimento de pisos: Técnicas de Assentamento**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2010.

TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F. **Avaliação da influência do choque térmico na aderência dos revestimentos de argamassa**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das edificações**. Porto Alegre: Sagra, 1999.

VIERA, E. R. **Propriedades adesivas de IPNS a base de poliuretana de óleo de mamona associada a diferentes poliácrlatos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

APÊNDICE(S)

APÊNDICE A – Avaliação estatística

Tabela 11 – ANOVA (Análise de Variância).

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	4,345279	11	0,395025	23,95279707	8,1223E-20	1,924308
Dentro dos grupos	1,187412	72	0,016492			
Total	5,532691	83				

Obs.:

(1) valor F: este valor é calculado: variância entre os grupos / variância dentro dos grupos = F. Quanto maior esse valor é, maior a diferença entre os grupos comparados à diferença entre cada tratamento.

(2) valor P: aplicado para verificar a probabilidade de seu resultado ser algo puramente ao acaso. Com o valor P baixo, significa que é bastante provável que qualquer diferença entre os grupos é uma diferença real e não algo que aconteceu ao acaso. Quando por exemplo, o P assume o valor de 0.05 significa que existem apenas 5% de chance de seu resultado ser uma casualidade. Valores menores de P significam maior confiabilidade em seu teste.

Tabela 12 - Teste T

Aplicado para comparação entre amostras (Teste-t: duas amostras em par para médias)
 Avaliação do item P bi-caudal que comprova diferença entre os resultados comparados se o valor for > 0,05.
 Resultados com comprovação de diferença destacados em negrito na análise apresentada na tabela a seguir.

Comparação entre amostras - par	Argamassa 3% e t0 (padrão)	Argamassa 3% e t 20 dias	Argamassa 3% e t0 (padrão)	Argamassa 3% e t 45 dias	Argamassa 3% e t0 (padrão)	Argamassa 3% e t 45 dias	Argamassa 3% e t0 (padrão)	Argamassa 3% e t 45 dias
Média	0,188737	0,000697	0,188737	0,137813	0,188737	0,144373	0,188737	0,22746
Variância	0,006483	1,83E-06	0,006483	0,017399	0,006483	0,015668	0,006483	0,005365
Observações	7	7	7	7	7	7	7	7
Correlação de Pearson	-0,13494		0,205669		0,222983			-0,387
Hipótese da diferença de média	0		0		0			0
Gl	6		6		6			6
Stat t	6,164282		0,964515		0,883337			-0,79972
P(T<=t) uni-caudal	0,000418		0,186018		0,205523			0,22718
t crítico uni-caudal	1,94318		1,94318		1,94318			1,94318
P(T<=t) bi-caudal	0,000837		0,372036		0,411047			0,45436
t crítico bi-caudal	2,446912				2,446912			2,446912

Tabela 12 - Teste T – continuação

Comparação entre amostras - par	Argamassa 5% e t 0 (padrão)	Argamassa 7% e t 0 (padrão)	Argamassa 5% e t 0 (padrão)	Argamassa 5% e t 20 dias	Argamassa 5% e t 0 (padrão)	Argamassa 5% e t 45 dias	Argamassa 5% e t 0 (padrão)	Argamassa 5% e t 73 dias
Média	0,22746	0,503124	0,22746	0,001394	0,22746	0,228918	0,22746	0,282541
Variância	0,005365	0,018938	0,005365	5,93E-06	0,005365	0,003507	0,005365	0,012632
Observações	7	7	7	7	7	7	7	7
Correlação de Pearson	0,372472		-0,08822		-0,45984		0,01089	
Hipótese da diferença de média	0		0		0		0	
gl	6		6		6		6	
Stat t	-5,62789		8,137327		-0,034		-1,09174	
P(T<=t) uni-caudal	0,000673		9,26E-05		0,486988		0,158418	
t crítico uni-caudal	1,94318		1,94318		1,94318		1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,001346		0,000185		0,973977		0,316836	
t crítico bi-caudal	2,446912		2,446912		2,446912		2,446912	

Tabela 12 - Teste T – continuação

Comparação entre amostras - par	Argamassa 3% e t 0 (padrão)	Argamassa 7% e t 0 (padrão)	Argamassa 7% e t 0 (padrão)	Argamassa 7% e t 20 dias	Argamassa 7% e t 0 (padrão)	Argamassa 7% e t 45 dias	Argamassa 7% e t 0 (padrão)	Argamassa 7% e t 73 dias
Média	0,188737	0,503124	0,503124	0,430394	0,503124	0,775673	0,503124	0,590865
Variância	0,006483	0,018938	0,018938	0,021359	0,018938	0,013473	0,018938	0,083069
Observações	7	7	7	7	7	7	7	7
Correlação de Pearson	0,241208		-0,4703		-0,38614		-0,216553	
Hipótese da diferença de média	0		0		0		0	
gl	6		6		6		6	
Stat t	-5,87055		0,790765		-3,40883		-0,672413	
P(T<=t) uni-caudal	0,000541		0,229594		0,00717		0,263177	
t crítico uni-caudal	1,94318		1,94318		1,94318		1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,001081		0,459188		0,014339		0,526353	
t crítico bi-caudal	2,446912		2,446912		2,446912		2,446912	

Tabela 12 - Teste T – continuação

Comparação entre amostras - par	Argamassa 7% e t 73 dias (padrão)	Argamassa 7% e t 73 dias	Argamassa 3% e t 73 dias	Argamassa 5% e t 73 dias	Argamassa 3% e t 73 dias	Argamassa 7% e t 73 dias	Argamassa 5% e t 73 dias	Argamassa 7% e t 73 dias
Média	0,503124	0,590865	0,144373	0,282541	0,144373	0,590865	0,282541	0,590865
Variância	0,018938	0,083069	0,015668	0,012632	0,015668	0,083069	0,012632	0,083069
Observações	7	7	7	7	7	7	7	7
Correlação de Pearson	-0,21655		0,583634		-0,21733		-0,28029	
Hipótese da diferença de média	0		0		0		0	
gl	6		6		6		6	
Stat t	-0,67241		-3,35406		-3,49232		-2,41751	
P(T<=t) uni-caudal	0,263177		0,007671		0,006473		0,02602	
t crítico uni-caudal	1,94318		1,94318		1,94318		1,94318	
P(T<=t) bi-caudal	0,526353		0,015342		0,012947		0,052039	
t crítico bi-caudal	2,446912		2,446912		2,446912		2,446912	

APÊNDICE B – Resultados de tensão de aderência da argamassa

Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa.

Variável 1	Variável 2		Resposta				Tipo de Ruptura	
	Tempo	Leituras	Força (Kgf)	T (Transformando kgf em N (1kgf=9,8N))	Área (mm ²)	$f_t = T/A$ (MPa)		
Argamassa 3%	0	1	34,6	339,08	2209	0,153499	A/P	
Argamassa 3%	0	2	44,4	435,12	2209	0,196976	A/P	
Argamassa 3%	0	3	41,8	409,64	2209	0,185441	A/P	
Argamassa 3%	0	4	29,3	287,14	2209	0,129986	A/P	
Argamassa 3%	0	5	11,3	110,74	2209	0,050131	A/P	
Argamassa 3%	0	6	24	235,2	2209	0,106474	A/P	
Argamassa 3%	0	7	79,8	782,04	2209	0,354024	A/P	
Argamassa 3%	0	8	43,9	430,22	2209	0,194758	A/P	
Argamassa 3%	1	1	0	0	2209	0	PD	
Média:							0,1714	
Argamassa 3%	1	2	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	1	3	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	1	4	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	1	5	0,8	7,84	2209	0,003549	A/P	
Argamassa 3%	1	6	0,3	2,94	2209	0,001331	A/P	
Argamassa 3%	1	7		0	2209	0	PD	

Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa - continuação

Média:							0,0007	
Argamassa 3%	2	1	16	156,8	2209	0,070982	A/P	
Argamassa 3%	2	2	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	2	3	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	2	4	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	2	5	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	2	6	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	2	7		0	2209	0	PD	
Média:							0,00101	
Argamassa 3%	3	1	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	3	2	11,5	112,7	2209	0,051019	A/P	
Argamassa 3%	3	3	64,3	630,14	2209	0,28526	A/P	
Argamassa 3%	3	4	55,4	542,92	2209	0,245776	A/P	
Argamassa 3%	3	5	0	0	2209	0	PD	
Argamassa 3%	3	6	38,6	378,28	2209	0,171245	A/P	
Argamassa 3%	3	7	58	568,4	2209	0,257311	A/P	
Média:							0,1444	
Argamassa 5%	0	1	75,9	743,82	2209	0,336722	A/P	
Argamassa 5%	0	2	59,3	581,14	2209	0,263078	A/P	
Argamassa 5%	0	3	26,1	255,78	2209	0,11579	A/P	

Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa - continuação

Argamassa 5%	0	4	56,7	555,66	2209	0,251544	A/P
Argamassa 5%	0	5	38,1	373,38	2209	0,169027	A/P
Argamassa 5%	0	6	59,4	582,12	2209	0,263522	A/P
Argamassa 5%	0	7	43,4	425,32	2209	0,19254	A/P
Média:						0,2275	
Argamassa 5%	1	1	0	0	2209	0	PD
Argamassa 5%	1	2	0	0	2209	0	PD
Argamassa 5%	1	3	0	0	2209	0	PD
Argamassa 5%	1	4	1,3	12,74	2209	0,005767	A/P
Argamassa 5%	1	5	0,9	8,82	2209	0,003993	A/P
Argamassa 5%	1	6	0	0	2209	0	PD
Argamassa 5%	1	7	0	0	2209	0	PD
Média:						0,0014	
Argamassa 5%	2	1	31,5	308,7	2209	0,139746	A/P
Argamassa 5%	2	2	58,5	573,3	2209	0,259529	A/P
Argamassa 5%	2	3	55,5	543,9	2209	0,24622	A/P
Argamassa 5%	2	4	70,9	694,82	2209	0,314541	A/P
Argamassa 5%	2	5	55,1	539,98	2209	0,244445	A/P
Argamassa 5%	2	6	36,9	361,62	2209	0,163703	A/P
Argamassa 5%	2	7	52,8	517,44	2209	0,234242	A/P

Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa – continuação

Média:										0,2289	
Argamassa 5%	3	1	78,9	773,22	2209					0,350032	A/P
Argamassa 5%	3	2	17,1	167,58	2209					0,075862	A/P
Argamassa 5%	3	3	81,3	796,74	2209					0,360679	A/P
Argamassa 5%	3	4	80,4	787,92	2209					0,356686	A/P
Argamassa 5%	3	5	39,11	383,278	2209					0,173507	A/P
Argamassa 5%	3	6	77,8	762,44	2209					0,345152	A/P
Argamassa 5%	3	7	71,2	697,76	2209					0,315871	A/P
Média:										0,2825	
Argamassa 7%	0	1	125,3	1227,94	2209					0,55588	A
Argamassa 7%	0	2	144,4	1415,12	2209					0,640616	A
Argamassa 7%	0	3	115	1127	2209					0,510186	A
Argamassa 7%	0	4	106,8	1046,64	2209					0,473807	A
Argamassa 7%	0	5	49,8	488,04	2209					0,220933	A
Argamassa 7%	0	6	114,8	1125,04	2209					0,509298	A
Argamassa 7%	0	7	137,1	1343,58	2209					0,60823	A
Média:										0,5027	
Argamassa 7%	1	1	79,8	782,04	2209					0,354024	A
Argamassa 7%	1	2	81,9	802,62	2209					0,363341	A
Argamassa 7%	1	3	117,2	1148,56	2209					0,519946	A

Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa - continuação

Argamassa 7%	1	4	40	392	2209	0,177456	A	
Argamassa 7%	1	5	140,5	1376,9	2209	0,623314	A	
Argamassa 7%	1	6	117,2	1148,56	2209	0,519946	A	
Argamassa 7%	1	7	102,5	1004,5	2209	0,454731	A	
Média:							0,4304	
Argamassa 7%	2	1	188,3	1845,34	2209	0,835373	A	
Argamassa 7%	2	2	172	1685,6	2209	0,76306	A	
Argamassa 7%	2	3	120,6	1181,88	2209	0,535029	A	
Argamassa 7%	2	4	188,9	1851,22	2209	0,838035	A	
Argamassa 7%	2	5	202,6	1985,48	2209	0,898814	A	
Argamassa 7%	2	6	177,5	1739,5	2209	0,78746	A	
Argamassa 7%	2	7	174	1705,2	2209	0,771933	A	
Média:							0,7757	
Argamassa 7%	3	1	104,5	1024,1	2209	0,463603	A	
Argamassa 7%	3	2	187,1	1833,58	2209	0,83005	A	
Argamassa 7%	3	3	164,4	1611,12	2209	0,729344	A	
Argamassa 7%	3	4	147	1440,6	2209	0,65215	A	
Argamassa 7%	3	5	145,8	1428,84	2209	0,646827	A	
Argamassa 7%	3	6	183,5	1798,3	2209	0,814079	A	
Argamassa 7%	3	7	0	0	2209	0	PD	

Tabela 13 - Detalhamento dos Resultados de Tensão de Aderência da Argamassa - continuação

Média:	0,5909
--------	--------

Sigla	Descrição
A/P	Ruptura na interface argamassa e placa cerâmica
A	Ruptura da argamassa colante
PD	Peça deslocada durante processo
F	Falha na colagem da peça metálica

Obs. (*)

Para o cálculo da resistência de aderência de argamassa

$$f_t = T/A$$

onde:

f_t é a tensão de ruptura, arredondada à segunda decimal, expressa em megapascals (MPa);

T é a força de ruptura, expressa em newtons (N);

A é a área da placa cerâmica, considerada igual a 2.209 mm², expressa em milímetros quadrados.

APÊNDICE C - Resultados do estudo de secagem

As amostras (substrato, argamassa e placa cerâmica) ficaram imersas em água a temperatura ambiente por 24 h.

Após este período, as amostras foram fracionadas em corpos de prova no tamanho 10x10 cm e mantidas em imersão até serem submetidas ao estudo de secagem.

Foram pesadas 10 amostras para a obtenção do peso úmido, e posteriormente foram colocadas em estufa com controle de temperatura a 65 °C.

Inicialmente as amostras foram pesadas individualmente a cada 5 min para o acompanhamento da secagem. Após 30 min, a periodicidade de pesagem foi a cada 10 min, devido à diminuição da perda de peso da amostra. Após 3 h de secagem a temperatura de 65°C as amostras apresentaram variação de peso inferior a 1,3 % o que usamos como premissa de material seco para o estudo de degradação acelerada.

Apresentamos os resultados das medições na tabela 14.

Tabela 14 - Resultados do Estudo de Secagem

Massa inicial	%aa massa final – após 3 horas de secagem
825,82	-1,23
660,75	-1,10
730,68	-1,20
762,99	-1,12
882,95	-1,17
830,94	-1,07
574,11	-1,11
748,41	-1,14
666,49	-1,05

ANEXO(S)

ANEXO A - Especificação de produtos

Especificações de Produtos Portobello

Specification Chart | Cuadro de Especificaciones

Portobello
Stil o Básico e Único

USOS USE USO				TIPOLOGIAS TYPES		Esmaltado Glazed Esmaltado	Grês Grés Illés Grés	Natural	Anticatal Anticatal	Estante Exterior Externo	Polido Polished Pulido	Anticatal	Natural	Piso de Pedra Pavimento Pavimento	AD ou Exterior AD or Exterior AD o Externo	
	Residencial Residencial	Piso Floors Piso	Interno Interior Interno	Seco Dry Seco	Molhado Wet Mojado											Manchas Wall tiles Pared
Residencial Residencial	Piso Floors Piso	Interno Interior Interno	Seco Dry Seco	Médio tráfego Medium traffic Tráfego medio				✓	✓		✓	✓	✓	✓		
			Baixo tráfego Light traffic Tráfego bajo	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				
		Molhado Wet Mojado	Baixo tráfego Light traffic Tráfego bajo			✓		✓		✓		✓	✓	✓		
	Paredes Walls Pared	Externo Exterior Externo	Molhado Wet Mojado							✓					✓	✓
			Interno Interior Interna	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓				
		Externa External Externa		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓				
Comercial Commercial Comercial	Piso Floors Piso	Alto tráfego Heavy traffic Tráfego intenso	Com abertura externa Covered exterior Con abertura externa										✓	✓	✓	
			Sem abertura externa Open exterior Sin abertura externa					✓	✓	✓	✓					
		Médio tráfego Medium traffic Tráfego medio	Com abertura externa With exterior access Con abertura externa			✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓			
	Paredes Walls Paredes	Interno Interior Pared Interna	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
		Externa External Fachadas		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
Piscinas Pools Piscina	Interior	Interno		✓	✓	✓		✓	✓	✓						
		Área externa Exterior surround Área externa					✓								✓	

Tabela referencial, para maiores informações consulte a equipe comercial.
 Reference Chart only – for further information, contact the Sales team.
 Este cuadro sirve como referencia. Para mayores informaciones consulte al equipo comercial.

Obs: Produtos utilizados em cozinhas devem ter PEI maior ou igual a 4.

(Fonte: Portobello, 2014)