

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

ANDRIGO RODRIGUES

**ANÁLISE ESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO DE TESTE DE
DEGRADAÇÃO ACELERADA DE CONJUNTOS CERÂMICOS
EM FACHADAS**

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

Orientador: Prof. Dr. Elídio Angioletto

**CRICIÚMA
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

R696a Rodrigues, Andriago.

Análise estatística na avaliação de teste de degradação acelerada de conjuntos cerâmicos em fachadas / Andriago Rodrigues; orientador: Elídio Angioletto. – Criciúma, SC : Ed. do Autor, 2015.

117 p : il. ; 21 cm.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Criciúma, SC, 2015.

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

CDD. 22^a ed. 620.135

Bibliotecária Rosângela Westrupp – CRB 14º/364
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC

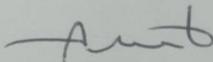
Andrigo Rodrigues

Análise estatística na avaliação de teste de degradação acelerada de conjuntos cerâmicos em fachadas.

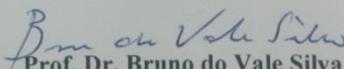
Esta dissertação foi julgada adequada à obtenção do grau de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (Área de concentração: Tecnologia de Materiais) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Criciúma, SC, 16 de dezembro de 2015.

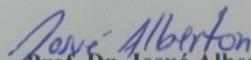
Banca Examinadora:



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



Prof. Dr. Bruno do Vale Silva
Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC



Prof. Dr. Josué Alberton
Centro Universitário Barriga Verde - UNIBAVE

*Aos meus pais, minha família e a
Deus*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Terezinha e Avelino, pelo apoio e amor incondicional, sem eles esta caminhada teria sido muito mais desafiante.

À Deus por me dar força, saúde e iluminar sempre minha vida.

A todos os meus familiares, em especial ao meu irmão Alyson, minhas sobrinhas Suyane e Eduarda e minha cunhada Karina, por entenderem a minha ausência durante estes 2 anos de estudos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da UNESC, pelos conhecimentos e ensinamentos transmitidos.

Dentre eles, faço um agradecimento muito especial ao meu orientador Prof. Dr. Elídio Angioletto, por todo ensinamento, por sua paciência, seus conselhos, sua dedicação ao ensino e a pesquisa científica, pela atenção e horas dedicadas à orientação desta dissertação, pela amizade e pela compreensão em momentos que precisei priorizar as funções profissionais dentro da instituição.

Agradeço a todos os gestores e professores da UNESC que me apoiaram durante esta caminhada, em especial do Prof. Dr. Gildo Volpato, Reitor da UNESC, pelo incentivo financeiro cedido pela instituição, ao Prof. Me. Daniel Ribeiro Preve, Diretor da UNACSA e a Prof. Me. Izabel de Souza, Coordenadora do Curso de Administração de Empresas, pela compreensão e apoio que tornaram viável conciliar estudos do mestrado, função administrativa na instituição e lecionar disciplinas na graduação, acreditando que posso estar contribuindo profissional e pedagogicamente dentro da instituição.

Em especial agradeço ao Prof. Dr. Marcos Back, por sempre acreditar no meu potencial e me apoiar de várias formas, tornando viável conciliar estudos para o mestrado e coordenação do IPESE.

Agradeço ao meu amigo Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos, pela amizade, pelos conselhos, pelas críticas construtivas e por ser uma inspiração para mim.

Aos meus novos amigos de PPGCEM, em especial a Jeanini, Nayadie, Lisandro, Luana, Monize e Camila, por todo o apoio durante os 2 anos de mestrado, desde conteúdos e trocas de ideias a todas as confraternizações realizadas até o momento.

A todos os professores do departamento de Administração de Empresas e Administração de Empresas com ênfase em Comércio Exterior, por estes 2 anos de convivência, aprendizado e por sempre me apoiarem para a realização deste mestrado.

Aos amigos fisicamente distantes, porém mentalmente sempre presentes durante mais esta caminhada, Rodrigo Kirtano, Clarice Sharimati Tiergarten, Luiza Ziliotto, Mateus (Japa), Meriele Ronsani, Guilherme Deolinda, Jamille Amayai e Katrine Canton “in memoriam”, vocês são fundamentais em minha vida, gratidão por tudo.

E a todos os amigos e pessoas não citados nominalmente, porém que sabem que fazem parte desta caminhada, minha gratidão por todo apoio e compreensão pela minha ausência em determinados momentos.

“O homem é parte da natureza e a sua guerra contra a natureza é inevitavelmente uma guerra contra si mesmo... Temos pela frente um desafio como nunca a humanidade teve, de provar nossa maturidade e nosso domínio, não da natureza, mas de nós mesmos”

(Rachel Carson – Primavera Silenciosa)

RESUMO

A produção e o consumo de revestimentos cerâmicos vêm aumentando nos últimos anos no Brasil, sendo sua aplicação, juntamente com a argamassa, os componentes do sistema de revestimento cerâmico mais utilizados no país. Uma das patologias mais graves e encontradas com frequência nos revestimentos cerâmicos de fachada é o destacamento, ocorrendo devido a sua exposição a vários fatores degradantes, como radiação, variações de temperatura e umidade. Desta forma, o presente estudo tem como objetivo estudar a variação média das resistências de aderência à tração da argamassa utilizada em conjuntos cerâmicos de fachadas, submetidos a condições saturadas de umidade e variação de temperatura. O estudo foi possível de ser realizado utilizando-se uma máquina de envelhecimento acelerado, desenvolvida pelo PPGCEM/UNESC. Os corpos de prova foram preparados com materiais padrão e disponíveis no mercado, sendo eles o substrato de cimento padronizado da ABCP, argamassa do tipo ACIII e placa cerâmica do tipo semi grés (classe BIIa). Ao todo, 16 corpos de prova foram preparados seguindo as normas ABNT NBR e em cada corpo de prova foram assentadas 8 peças cerâmicas. Dos 16 corpos de prova, 10 foram colocados dentro da máquina de envelhecimento acelerado e submetidos a cinco tempos de exposição aos ciclos que alternavam a umidade e a variação de temperatura a cada 65 minutos, simulando o tempo total de 40 anos de uso do sistema de fachada. Os 6 corpos de prova restantes não foram expostos à degradação acelerada. A variável resposta do estudo é a resistência de aderência à tração, medida com dinamômetro digital. Todos os testes estatísticos foram aplicados com um nível de significância (α) de 5%. Os resultados observados na Análise de Variância (ANOVA) demonstraram que o tempo de exposição das peças cerâmicas submetidas à variação de temperatura e umidade influenciou na variação dos valores de resistência de aderência à tração (p-valor = 0,000). Através do teste de Tukey foi possível observar diferenças significativas entre algumas resistências médias das peças expostas a 33, 66, 99, 132 e 165 dias de envelhecimento acelerado, quando comparadas ciclo a ciclo. Todos os resultados estão detalhados no estudo. Quando comparadas as resistências médias das peças cerâmicas expostas à degradação acelerada com as resistências médias das peças que não foram expostas à degradação, não houve diferença significativa, reforçando a recomendação da ABNT NBR 14081-1 (ABNT, 2012), de que a argamassa ACIII é a mais recomendada para aplicação em revestimentos cerâmicos de fachadas.

Palavras-chave: Revestimento cerâmico. Fachada. Argamassa colante.
Análise estatística. Degradação acelerada.

ABSTRACT

The production and consumption of ceramic tiles have increased in Brazil in recent years. Along with mortar, they are the most used components of the ceramic coating system in the country. One of the most serious pathologies frequently found in ceramic facade tiles is the detachment, occurring due to its exposure to various degrading factors such as radiation, temperature and humidity variations. Thus, this work aims to study the average change of tack resistance to traction of the mortar used in ceramic sets of facades, submitted to saturated conditions of humidity and temperature variation. The study was conducted using an accelerated aging machine developed by PPGCEM / UNESC. The samples were prepared using standard materials available in the market: the standardized cement substrate ABCP, the ACIII type mortar and semigrés type ceramic tile (BIIa class). 16 specimens were prepared following the NBR standards and in each specimen 8 ceramic tiles were settled. From the 16 specimens, 10 were placed in the accelerated aging machine and subjected to five cycles of exposure to alternated humidity and temperature changing at every 65 minutes, simulating 40 years total time of facade usage. The remaining 6 samples were not exposed to accelerated degradation. The response variable was the tack resistance to traction, measured with digital dynamometer. All statistical tests were applied with a significance level (α) of 5 %. The results from the Analysis of Variance (ANOVA) showed that the exposure time of the ceramic tiles subjected to variations in temperature and humidity influences the variation of the tack resistance to traction values (p-value = 0.000). The Tukey's test showed significant differences between some medium resistance of the parts exposed to 33, 66, 99, 132 and 165 days of accelerated aging, compared cycle to cycle. All results are detailed in the study. Comparing the average resistance of the ceramic exposed to accelerated degradation with the average resistance of the tiles that were not exposed to degradation, no significant difference was found, reinforcing the recommendation of ABNT NBR 14081-1 (ABNT, 2012), that the ACIII mortar is the most recommended for use on ceramic facade tiles.

Keywords: Ceramic coating. Facade. Mortar adhesive. Statistical analysis. Accelerated degradation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da produção mundial de revestimento cerâmico (em milhões de m ²).....	27
Figura 2 - Evolução da produção e venda de revestimentos cerâmicos no Brasil.....	28
Figura 3 - Materiais e camadas constituintes mostrando os principais componentes do revestimento cerâmico de fachada.....	35
Figura 4 - Porosidade aberta (à esquerda) e porosidade fechada (à direita).....	37
Figura 5 - Vista geral da fachada com deslocamento.....	43
Figura 6 - Representação esquemática do corpo de prova para o experimento.	61
Figura 7 - Esquema dos apoios do aparelho de tração sobre a superfície da amostra.....	62
Figura 8 - Misturador planetário utilizado no preparo da argamassa.	64
Figura 9 - Aplicação da argamassa colante.....	65
Figura 10 - Fotografia do corpo de prova recebendo o peso padrão.	66
Figura 11 - Fotografia de 3 corpos de prova após retirada da camada excedente.....	67
Figura 12 - Ciclo de chuva e resfriamento - programado.....	69
Figura 13 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa).	73
Figura 14 - Resistências médias (MPa) e Intervalo de confiança de 95%, em função do tempo de exposição ao envelhecimento acelerado.	75
Figura 15 - Comparação entre as resistências médias das placas expostas a degradação acelerada e as placas de referência.....	79
Figura 16 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 33 dias na máquina <i>versus</i> branco.....	81
Figura 17 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 66 dias na máquina <i>versus</i> branco.....	82
Figura 18 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 99 dias na máquina <i>versus</i> branco.....	84
Figura 19 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 132 dias na máquina <i>versus</i> branco.....	86
Figura 20 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 165 dias na máquina <i>versus</i> branco.....	88
Figura 21 - Exemplos de rupturas encontradas nas amostras (branco)..	91
Figura 22 - Difratograma de Raios X, DRX, da argamassa de assentamento exposta a ciclos térmicos em diversos tempos.	92
Figura 23 - Micrografias da argamassa referência e do quinto ciclo.....	93

Figura 24 – Espectroscopia de infravermelho da argamassa de assentamento exposta a ciclos térmicos em diversos tempos.....	94
Figura 25 - DSC/TGA das placas de referência.	98
Figura 26 - DSC/TGA das placas do 3º ciclo.....	99
Figura 27 - DSC/TGA das placas do 5º ciclo.....	100
Figura 28 - Variação de temperatura dentro da máquina de envelhecimento acelerado (superfície) e na interface argamassa <i>versus</i> revestimento cerâmico (interno).....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vida útil de Projeto (VUP)*.	49
Tabela 2 - Probabilidade de se cometer ao menos um erro do tipo I, usando teste t para comparar duas a duas, todas as médias de um experimento com k grupos.....	55
Tabela 3 - Variável do experimento.	59
Tabela 4 - Matriz do Experimento.	59
Tabela 5 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), segundo tempo de exposição.....	74
Tabela 6 - Análise de Variância (ANOVA).....	76
Tabela 7 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 1 (33 dias).....	80
Tabela 8 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 2 (66 dias).....	82
Tabela 9 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 3 (99 dias).....	84
Tabela 10 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 4 (132 dias).....	86
Tabela 11 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 5 (165 dias).....	87
Tabela 12 - Tipos de rupturas apresentados pelas peças cerâmicas.	89
Tabela 13 - Frequências observadas e resíduos ajustados do teste Qui-Quadrado.	90

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
2 OBJETIVOS	31
2.1 OBJETIVO GERAL	31
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	33
3.1 HISTÓRICO DA UTILIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS CERÂMICOS EM FACHADAS	33
3.2 REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE FACHADA	34
3.3 ARGAMASSAS COLANTES	40
3.4 INFLUÊNCIAS DA ARGAMASSA COLANTE E DO MATERIAL DE REVESTIMENTO NA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA	41
3.5 MECANISMOS DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM REVESTIMENTO DE FACHADA	42
3.6 MÉTODO DE ESTUDO DE ENVELHECIMENTO	44
3.6.1 Ensaios de envelhecimento acelerado	44
3.6.2 Ensaios de envelhecimento natural	45
3.6.3 Envelhecimento em uso	45
3.7 ENQUADRAMENTO NORMATIVO PARA ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL ACELERADO	46
3.8 NORMA DE DESEMPENHO	48
3.9 REVISÃO DE ESTATÍSTICA	50
3.9.1 Intervalo de confiança	53
3.9.2 Análise de variância (ANOVA)	54
4 METODOLOGIA	59
4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	59
4.2 ENSAIOS DE DEGRADAÇÃO ACELERADA	60
4.2.1 Estrutura do ensaio	60
4.2.2 Preparação dos corpos de prova	62
4.2.2.1 Condicionamento dos materiais	62
4.2.2.2 Preparo da argamassa colante	62
4.2.2.3 Aplicação da argamassa e colagem dos revestimentos cerâmicos	64
4.3 ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO	67
4.3.1 Procedimento de Ensaio	68
4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO/ARRANCAMENTO	70
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	70
4.6 ANÁLISE TÉRMICA	71

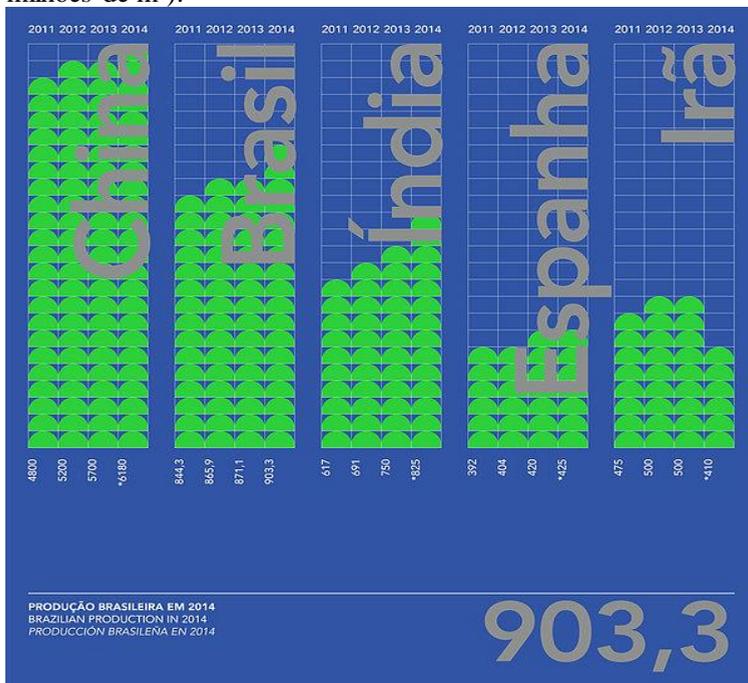
4.7 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VAREURA (MEV)	72
4.8 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX).....	72
4.8 INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).....	72
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	73
5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	73
5.1.1 Análise de Variância (ANOVA).....	73
5.1.2 Análise estatística por ciclo	78
5.1.2.1 Análise estatística ciclo 1 (33 dias) versus branco	79
5.1.2.2 Análise estatística ciclo 2 (66 dias) versus branco	81
5.1.2.3 Análise estatística ciclo 3 (99 dias) versus branco	83
5.1.2.4 Análise estatística ciclo 4 (132 dias) versus branco.....	85
5.1.2.5 Análise estatística ciclo 5 (165 dias) versus branco.....	87
5.1.3 Análise estatística para formas de ruptura.....	89
5.2 ANÁLISE DAS FASES POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	91
5.3 ANÁLISE POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	92
5.4 ANÁLISE UTILIZANDO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER	93
5.5 ANÁLISE TÉRMICA	97
5.6 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADA	100
6 CONCLUSÃO	103
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	105
REFERÊNCIAS.....	107

1 INTRODUÇÃO

O aumento consistente do consumo de revestimentos cerâmicos nos últimos anos e de sua produção reflete um mercado mundial saudável e sustentável para o setor de revestimentos cerâmicos (ANFACER, 2015).

Segundo dados publicados pela ANFACER, a produção mundial de revestimentos cerâmicos, em volume, vem crescendo nos últimos anos, conforme demonstrado na Figura 1 (ANFACER, 2015).

Figura 1 - Evolução da produção mundial de revestimento cerâmico (em milhões de m²).



Fonte: ANFACER, 2015

O Brasil acompanha esta tendência mundial de crescimento, ocupando a segunda posição no mercado mundial em produção e consumo, atrás apenas da China (ANFACER, 2013). Segmento produtivo de capital essencialmente nacional, o setor brasileiro de revestimentos cerâmicos conta com 93 empresas concentradas nas

regiões Sudeste e Sul, com expansão para o Nordeste do Brasil. A cadeia produtiva do setor é responsável pela geração de 25 mil empregos diretos e aproximadamente 200 mil empregos indiretos no país (ANFACER, 2015).

Conforme dados da ANFACER (Figura 2), em 2014 foram produzidos 903,3 milhões de metros quadrados de revestimentos cerâmicos no Brasil. No mesmo ano, foram consumidos 853,2 milhões de metros quadrados no mercado interno brasileiro e 69,2 milhões de metros quadrados foram exportados.

Figura 2 - Evolução da produção e venda de revestimentos cerâmicos no Brasil.

Vendas de revestimentos cerâmicos no mercado interno		Produção brasileira de revestimento cerâmicos	
ano	milhões de m ²	ano	milhões de m ²
2015*	861,7	2015*	916,8
2014	853,2	2014	903,3
2013	837,5	2013	871,1
2012	803,3	2012	865,9
2011	774,4	2011	844,3
2010	699,6	2010	753,5
2009	644,5	2009	714,9
2008	605,4	2008	713,4

Fonte: ANFACER, 2015

Dentro deste contexto, encontram-se as cerâmicas utilizadas no revestimento de fachadas.

Segundo a ABNT NBR 13816 (ABNT, 1997), o revestimento cerâmico de fachadas é definido como “conjunto formado pelas placas cerâmicas, pela argamassa de assentamento e pelo rejunte”.

Para MEDEIROS e SABBATINI (1999), os revestimentos cerâmicos de fachada de edifícios consistem no “conjunto monolítico de camadas aderidas à base suportante da fachada do edifício, cuja capa exterior é constituída de placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo”.

Por possuir características de elevada resistência as mais variadas condições ambientais, bem como, ao seu baixo desgaste ao longo do tempo, o sistema de revestimento cerâmico de fachada é amplamente usado em obras de pequeno e grande porte (CAMPANTE e SABBATINI, 2001).

Justamente pelo fato do Brasil possuir um clima predominantemente tropical e chuvoso, MEDEIROS e SABBATINI (1999) destacam que a utilização dos revestimentos cerâmicos de fachada é a escolha mais interessante em termos de desempenho e durabilidade.

Para CAMPANTE e SABBATINI (2001), os principais motivos para a utilização dos revestimentos cerâmicos de fachada consistem na sua facilidade de compor padrões geométricos, boa resistência à umidade, limpabilidade, baixo custo de manutenção, desempenho geral satisfatório, além da capacidade de permanecer inalterado ao longo do tempo.

De acordo com MEDEIROS e SABBATINI (1999), a “maior durabilidade, valorização estética, facilidade de limpeza, possibilidades de composição harmônica, melhoria de estanqueidade da vedação, conforto térmico e acústico da fachada”, tornam os revestimentos cerâmicos de fachada mais vantajosos comparados às demais opções de revestimentos tradicionais disponíveis no mercado.

Segundo SILVA (2014), uma das patologias identificadas em revestimentos cerâmicos de fachada mais grave e frequente é o destacamento, registrado nos primeiros anos de utilização ou após longos anos de desempenho adequado.

O destacamento pode ocorrer devido ao revestimento cerâmico de fachada estar sujeito às variações de temperatura e umidade, além de outros fatores degradantes como a radiação (SILVA, 2014).

Em seu estudo, SILVA (2014), utilizou uma máquina de envelhecimento acelerado, desenvolvida junto ao PPGCEM/UNESC e submeteu corpos de prova a 4 (quatro) tempos de exposição aos ciclos de envelhecimento acelerada (0, 20, 45 e 73 dias), alternando umidade e variação de temperatura, simulando o tempo total de uso do sistema de fachada em 18 anos.

SILVA (2014) verificou que o tempo de exposição do revestimento cerâmico de fachada às variações de temperatura e umidade é significativo em relação ao desempenho resistência de aderência do sistema de revestimento cerâmico, onde quanto maior o

tempo de exposição do sistema, maior sua resistência de aderência à tração.

O presente estudo é uma continuação do trabalho de SILVA (2014), buscando aumentar o tempo de teste dentro da câmara de envelhecimento acelerado, simulando um tempo total de 40 anos, cumprindo os requisitos da norma de desempenho ABNT NBR 15575 - 1 (2012), que estabelece um tempo de vida útil da vedação vertical externa \geq a 40 anos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a variação média da resistência de aderência a tração do conjunto cerâmico utilizado em fachadas exposto e não exposto ao teste de degradação acelerada.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Utilizar análises estatísticas para avaliar a metodologia de degradação acelerada do sistema de revestimento cerâmico em fachadas;
- ✓ 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

A origem da palavra azulejo provém dos árabes e significa “pedra polida”, derivado do termo “azuleicha”. Segundo Hoffmann (2011) foram os islâmicos quem difundiram a arte do azulejo, sendo esta arte levada para a Espanha pelos árabes e consequentemente espalhada pela Europa.

Ainda de acordo com Hoffmann (2011) a técnica que permite combinar várias cores em um azulejo, chamada de cerâmica de corda seca, foi criada na Pérsia no século XIV e continua sendo muito utilizada até hoje.

Em Portugal, as primeiras utilizações conhecidas do azulejo como revestimento monumental das paredes, que se tornaram uma das mais expressivas artes ornamentais, foram realizadas com azulejos importados de Sevilha em 1503 (HOFFMANN, 2011).

A partir do século XVI, Portugal foi o país europeu que mais aplicou o revestimento cerâmico em seus prédios e segundo descrito por Silveira (2013), o gosto dos portugueses pela utilização da cerâmica é oriundo das navegações iniciadas no século XV, onde os lusitanos estabeleceram os primeiros contatos com outras civilizações e outras manifestações artísticas.

A produção regular de revestimento cerâmico em Portugal se deu a partir do século XVI, onde sua aplicação ocorreu apenas nos interiores de igrejas, conventos e em palácios nobres da alta burguesia, na forma de tapetes ou de forma mais ornamental (SILVEIRA, 2013).

As aplicações na parte externa restringiam-se a cobertura de pináculos e cúpulas das igrejas por ser um material de elevado custo (HOFFMANN, 2011).

De acordo com Hoffmann (2011), há discussões em relação à nacionalidade dos primeiros revestimentos cerâmicos que chegaram ao Brasil. Segundo o autor, os azulejos em estilo barroco foram encomendados de Lisboa no século XVII, enquanto o surgimento do grês teve como fonte de inspiração um produto rústico existente na Alemanha, chamado “clinker”.

Para Amaral (2013), a aplicação de azulejo na arquitetura brasileira surgiu como revestimento de barras decorativas e

posteriormente em fachadas inteiras, sendo esta forma de aplicação uma herança vinda de Portugal.

Amaral (2013) destaca ainda, que durante a 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.

Segundo Wojcikiewicz (2008), o Brasil, durante sua colonização, recebeu representantes de muitos povos, gerando fortes influências culturais na arquitetura e no artesanato. Porém, Wojcikiewicz (2008), assim como os autores anteriormente citados, também acredita que a maior influência para a utilização de cerâmica ocorreu através dos portugueses.

No século XVIII, o Marquês de Pombal, enquanto Primeiro Ministro de D. João VI, em Portugal, estabelece um projeto de industrialização manufatureira no país, implementando a Fábrica de “Loiça do Rato”, que simplificava os 26 padrões dos azulejos com o intuito de aumentar a produção (SILVEIRA, 2013).

Inicialmente utilizado apenas por ser um produto de importação, o revestimento das fachadas com azulejos passou a ser utilizado também por questões climáticas, impedindo a corrosão, causada pela abundância de chuva e a ação do sol (AMARAL, 2013).

Para 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.

O Brasil, hoje, é um grande produtor de revestimento cerâmico, ocupando a segunda posição no mercado mundial em produção e consumo, atrás apenas da China (ANFACER, 2013).

3.2 REVESTIMENTOS CERÂMICOS DE FACHADA

Os revestimentos da fachada devem apresentar as propriedades para os fins a que se destina que é a proteção e vedação da edificação contra a ação de agentes externos agressivos, quanto ao efeito estético e de valorização patrimonial, compatíveis com a nobreza e custo elevado do material (GRANATO, 2002).

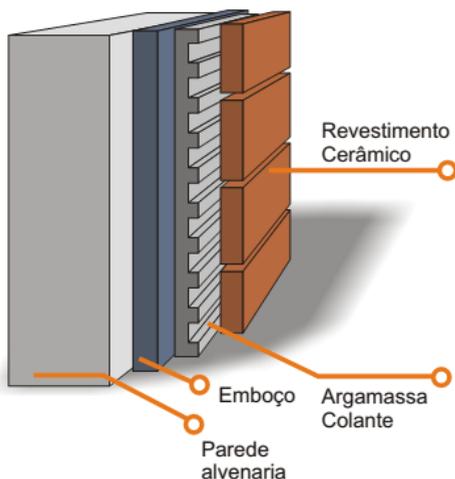
MEDEIROS e SABBATINI (1999) conceituam os revestimentos cerâmicos de fachada como sendo:

Conjunto monolítico de camadas (inclusive o emboço de substrato) aderidas à base suportante da fachada do edifício (alvenaria ou estrutura), cuja capa exterior é constituída de placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo.

Os revestimentos cerâmicos de fachada possuem, como principais componentes deste conjunto, a camada de regularização, a camada de fixação, as peças cerâmicas e as juntas (BARROS; SABBATINI, 1997).

A Figura 3 ilustra os materiais e camadas constituintes do sistema de revestimento cerâmico de fachada.

Figura 3 - Materiais e camadas constituintes mostrando os principais componentes do revestimento cerâmico de fachada.



Fonte: Silva, 2014.

A argamassa colante (Figura 3) é o material mais aplicado como camada de fixação das placas cerâmicas, permitindo a aderência das placas ao substrato (GROFF, 2011). Comparada com outros produtos existentes e utilizados para fixação das placas, a argamassa colante apresenta maior produtividade e simplicidade na aplicação, promove melhor resistência de aderência e sua retração não geram tensões prejudiciais na camada fina do revestimento, quando aplicadas corretamente (BARROS; SABBATINI, 1997).

As juntas entre componentes e as juntas de trabalho são outro tipo de componente importante do sistema de revestimento cerâmico de fachada (GROFF, 2011).

As juntas entre componentes, também chamadas de juntas de assentamento, são executadas durante a etapa de assentamento das peças cerâmicas, por meio de espaçamento das peças tendo como finalidade, segundo Barros e Sabbatini (1997):

- 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;
- c) permitir alinhamentos precisos (nas duas direções ortogonais) dos componentes que por apresentarem variações dimensionais e nos esquadros não poderiam ser encostados uns nos outros sem necessariamente perder o alinhamento;
- d) permitir harmonizações estéticas que valorizem o conjunto.

Já as juntas de trabalho, denominadas como juntas de movimentação, têm por finalidade 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 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 tardo de 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.

Algumas características influenciam no desempenho da placa cerâmica, sendo elas o tipo de porosidade, a absorção de água, variação térmica, expansão por umidade e dilatação térmica.

SOUZA (2010) define porosidade como sendo os espaços vazios gerados no processo de fabricação das peças cerâmicas, também chamados de poros. Estes poros são necessários quando se deseja fixar as placas com argamassa por aderência mecânica, porém quando o objetivo é fixar as placas por adesão química, os poros não são desejados, pois interferem na eficiência.

De acordo com Granato (2002) a porosidade pode ocorrer devido a evaporação da água excedente da mistura e o ar incorporado durante a mistura, transporte e adensamento.

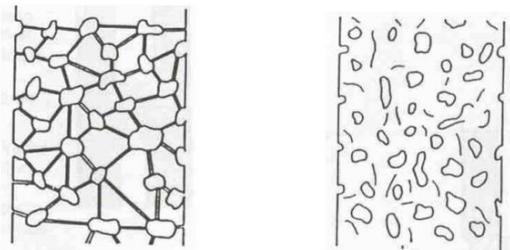
Para Souza (2010), os materiais de construção têm características de absorção de água e porosidade bastante distintas em função do diâmetro e distribuição dos canais capilares, da porosidade do material e do tipo de poro presente.

Quando estão interligados e abertos, os poros capilares são os principais causadores da permeabilidade da pasta de cimento, bem como a vulnerabilidade às ações dos agentes externos (GRANATO, 2002).

Os poros não interligados com a superfície e que se apresentam como vazios impermeáveis são denominados fechados.

A Figura 4 apresenta esquematicamente as porosidades aberta e fechada.

Figura 4 - Porosidade aberta (à esquerda) e porosidade fechada (à direita).



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

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.

Quando ocorre uma absorção elevada de água, a estrutura do material é definida como porosa e quando a absorção for baixa, a estrutura do material é compacta. Desta forma, Abitante (1996) destaca que a absorção de água é considerada uma das principais propriedades dos elementos cerâmicos, fornecendo uma indicação da estrutura do material.

Muitos componentes da construção civil, por ficarem expostos as variações térmicas diárias e sazonais, como é o caso do revestimento cerâmico de fachada, acabando apresentando variações dimensionais nos materiais (GRANATO, 2002).

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.

Segundo Granato (2002), as movimentações térmicas de um material estão ligadas com as suas propriedades físicas e com a intensidade das variações da temperatura.

Nas condições normais, o sol é a principal fonte de calor que atua sobre os componentes de uma construção. 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), são exemplos de lesões verificadas em obras sob efeito das movimentações diferenciadas:

- 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.

As placas cerâmicas possuem minerais na composição de sua matéria-prima, que contêm água em suas moléculas e essa água é

volatilizada durante o processo de queima no forno na sua fabricação (BAUER E RAGO, 2000).

Para Fiorito (1994) os revestimentos cerâmicos, logo após a saída do forno, estão sujeitos a um inchamento quando entram em contato com a umidade do meio ambiente. Após as placas cerâmicas terem sido assentadas, este inchamento avança, gerando as tensões nos revestimentos, influenciando na estabilidade do mesmo quando em serviço.

Segundo Bauer e Rago (2000), após o processo de queima e durante meses e anos após sua fabricação, as placas cerâmicas passarão por uma rehidratação, devido á absorção de água em forma de vapor de umidade natural e do meio ambiente onde ela for assentada, gerando um acréscimo das moléculas dos minerais.

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).

Para Saraiva, Bauer e Bezerra (2002), o coeficiente de absorção térmica do material varia de acordo com a coloração das superfícies receptora de radiação solar. Em um sistema de revestimento cerâmico constituído de peças claras, que possuem um baixo coeficiente de absorção, a fachada pode atingir certa temperatura. Já outro sistema utilizando peças escuras, que possuem alto coeficiente de absorção, a fachada deve atingir uma temperatura superior ao caso anterior.

Os revestimentos cerâmicos de fachada necessitam ser muito bem planejados, onde em seu estudo, Granato (2002) destaca que:

Os revestimentos das fachadas em muitas ocasiões não são devidamente planejados, quer pela elaboração de um projeto específico, com o detalhamento das interferências, propriedades dos materiais, normalizações pertinentes, juntas de dilatação, tolerâncias e controles, metodologia de execução, conciliação com outros elementos integrantes da fachada, bem como da execução deficiente e sem atender e respeitar as características reológicas dos materiais componentes da edificação e dos elementos constituintes da fachada. Aliado a isto, observa-se falhas devido ao controle deficiente, na seleção e recebimento de materiais, na preparação da argamassa de assentamento, na execução dos serviços de assentamento e acabamento final.

Quando não bem planejados, um revestimento cerâmico de fachada pode apresentar baixa qualidade e desempenho insatisfatório, e consequentemente, não apresenta condições de atender à elevada durabilidade e impermeabilidade, que é inerente a este tipo de revestimento.

3.3 ARGAMASSAS COLANTES

Conforme definições da 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 (SILVA, 2014).

Segundo Souza (2010), para um correto desempenho do revestimento cerâmico de fachada, algumas propriedades das argamassas colantes são importantes e desejáveis.

As principais propriedades, bem como seus conceitos e definições são apresentadas por Souza (2010) da seguinte forma:

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 promova fácil espalhamento preenchendo todas as reentrâncias da base ao ser assentada, não segregar ao ser transportada, 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 e 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).

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).

A definição da argamassa adequada para cada situação é de extrema importância, evitando problemas com a perda de água de constituição, tanto para o material a ela aderido, quanto para o ambiente (MARANHÃO et al., 2003).

A mão de obra que executa o assentamento das peças cerâmicas pode gerar fortes influências em diferentes resultados significativos de aderência entre revestimento e substrato, comprometendo a qualidade final do revestimento de fachada (MASUERO E GEYER, 1995).

Para Groff (2011), a adesão mecânica e a adesão química, são as duas teorias que explica o fenômeno de aderência com o auxílio de adesivo entre dois materiais.

Sobre a adesão mecânica Masuero e Geyer (1995) descrevem 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.

A formação dos cristais de hidratação do cimento no interior dos poros do material gera o intertravamento citado por Masuero e Geyer (1995).

Em relação a teoria da adesão química, Masuero e Geyer (1995) propõe que “ se houver um íntimo contato molecular, o material aderirá por causa das forças superficiais atuando entre os átomos das duas superfícies”.

Para Vieira (2005), a adesão química pressupõe-se a formação de ligações covalentes ou iônicas na interface.

Além das teorias de adesão mecânica e química, Viera (2005) cita em seu estudo outras duas teorias, a de adsorção física e a da eletrostática.

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 (VIEIRA, 2005).

Já a teoria da eletrostática implica na 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 (VIEIRA, 2005).

3.5 MECANISMOS DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS EM REVESTIMENTO DE FACHADA

Conforme ANTUNES (2010), a manifestação patológica resulta de uma combinação de vários fatores, podendo ser sucedida por uma sobreposição de efeitos que se acumulam até que se manifeste um dano maior.

Para GROFF (2011) uma patologia ocorre em um edifício quando o mesmo não apresenta o desempenho previsto ao longo da sua vida útil, tendo origem nas fases de projeto e de execução. Ainda segundo o autor, a inexistência de um projeto específico de revestimento, a não consideração de condições de exposição do edifício e erros nos requisitos mínimos de sua construção são fatores que levam à manifestação patológica na fase de projeto.

Já durante a fase de execução, as manifestações patológicas podem ocorrer devido à má execução do projeto, sendo causada pela falta de informação e domínio das técnicas de execução ou ainda pela mão de obra não especializada (GROFF, 2011).

Segundo ROSCOE (2008), um efeito imediato do surgimento das patologias dos revestimentos cerâmicos de fachadas é a desvalorização do imóvel.

O descolamento e deslocamento de placas cerâmicas, falhas de vedação, fissuração, deterioração das juntas de movimentação e eflorescências estão entre as principais manifestações patológicas em sistemas de revestimento cerâmico de fachada (ANTUNES, 2010).

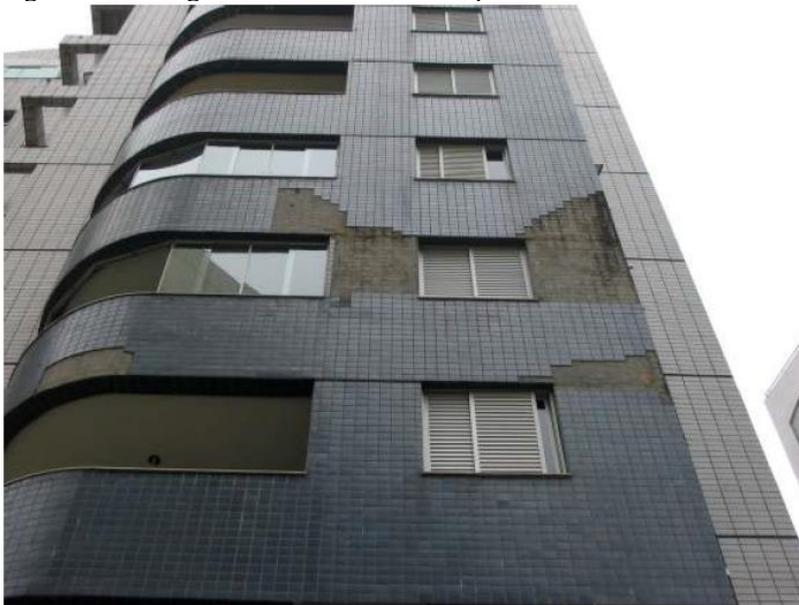
Para MEDEIROS E SABBATINI (1999), o descolamento é a patologia mais crítica encontrada em revestimentos de fachada devido

aos riscos de acidentes em função da queda de placas ou partes das camadas, podendo atingir objetos de valor como carros e até pessoas.

Ainda segundo os autores, o descolamento ocorre com maior frequência nos primeiro e últimos andares, em regiões de descolamento estrutural mais intenso e nas fachadas mais atingidas por insolação.

Conforme ANTUNES (2010), “o descolamento é um problema causado pelo incremento da deficiência na aderência das ligações entre as camadas que constituem o sistema de revestimento. O mesmo ocorre ao longo do tempo e não está associado necessariamente à queda imediata do revestimento ou de placas cerâmicas. Inicia-se com a ruptura na interface entre camadas e com a formação de bolsões que se propagam tornando o sistema de revestimento instável estruturalmente”.

Figura 5 - Vista geral da fachada com deslocamento



Fonte: ROSCOE, 2008.

As causas para a ocorrência do descolamento são diversas, podendo estar relacionada à falta de aderência das camadas do revestimento cerâmico com a argamassa ou entre esta e o substrato, segundo GROFF (2011), ou ainda devido às argamassas com camadas muito espessas, ricas em aglomerantes e grandes variações na

temperatura gerarem tensões de cisalhamento na interface argamassa – base (BAUER, 1994).

Um estudo realizado por ANTUNES (2010) analisou 6 (seis) prédios em Brasília e identificou que em média, 55% das patologias encontradas nos edifícios foram de descolamento da placa cerâmica.

Outro estudo, feito por GROFF (2011), avaliou 22 (vinte e dois) edifícios, encontrando um total de 203 ocorrências de patologias nos revestimentos cerâmicos de fachada, sendo 52,7% descolamento da placa cerâmica.

Estes números comprovam que o descolamento é uma patologia frequentemente encontrada nos revestimentos cerâmicos de fachada, sendo importante a elaboração de estudos no sentido de entender o comportamento do sistema de revestimento cerâmico de fachada ao longo do tempo de vida útil.

3.6 MÉTODO 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.

3.6.1 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 Weatherometer) 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).

3.6.2 Ensaio de 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 , CO_2 , 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.

3.6.3 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).

3.7 ENQUADRAMENTO NORMATIVO PARA ENVELHECIMENTO ARTIFICIAL ACELERADO

Durante seu estudo, Silva (2014) identificou que existe um número reduzido de normas que definem procedimentos de ensaio para o envelhecimento artificial acelerado, sendo que no Brasil, não foi encontrado normas sobre o assunto.

Desta forma, Silva (2014) realizou um levantamento de normas internacionais, sendo as que mais se relacionam com o seu estudo e o presente estudo, estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Enquadramento normativo.

Organização difusora das normas técnicas	Norma (código/número)	Abordagem do tema em estudo
---	------------------------------	------------------------------------

Quadro 1 - Enquadramento normativo (continuação).

International Organization for Standardization (ISO)	ISO 15686 - Buildings and constructed assets - Service Life Planning (2012)	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. 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.
American 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)	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 e matemática necessária para a previsão de vida útil não sejam descritas em detalhe; a análise determinística ou probabilística pode ser utilizada. Apresenta uma abordagem sistemática para a previsão de vida em uso, incluindo a identificação das informações necessárias para o desenvolvimento de testes acelerados, a interpretação dos dados e seu relatório.
	ASTM C 481 - Standard Method of test for Laboratory Aging of Sandwich Constructions (1999)	Abrange a determinação da resistência dos painéis de sanduíche para as condições de exposição graves como medida 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.

Quadro 1 - 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: Silva (2014).

Após esta análise, Silva (2014) reforça que os documentos normativos apresentados não atendem completamente ao estudo proposto pelo autor, por serem muito generalistas ou se referirem a outras matérias diferentes do estudado.

3.8 NORMA DE DESEMPENHO

Segundo descrição da CBIC (2013), a norma de desempenho ABNTNBR 15575 tem por finalidade estabelecer parâmetros, objetivos e quantitativos que podem ser medidos. Dessa forma, é possível buscar 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.

O conjunto normativo ABNT NBR 15575, intitulado “Edificações habitacionais – Desempenho”, está dividido em 6 partes: Requisitos gerais, Requisitos para os sistemas estruturais, Requisitos para os sistemas de pisos, Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE, Requisitos para os sistemas de coberturas e Requisitos para os sistemas hidro sanitários.

O objetivo desta Norma não é determinar como os sistemas serão construídos e sim focar nos requisitos e critérios de desempenho aplicados nas edificações habitacionais, avaliando de forma isolada um ou mais sistemas específicos (ABNT, 2012).

O termo Desempenho refere-se ao “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas” (ABNT, 2012, p. 08). O termo Critérios de Desempenho é definido como “especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados” (ABNT, 2012, p. 08).

Segundo a ABNT NBR 15575-1 (2012), o tempo de vida útil de projeto para vedação vertical externa é de no mínimo 40 anos, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Vida útil de Projeto (VUP)*.

Sistema	VUP mínima em anos
	≥ 50
Estrutura	segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

* Considerando periodicidade e processos de manutenção especificados no respectivo Manual de Uso, Operação e Manutenção entregue ao usuário elabora em atendimento à ABNT 5674

Fonte: ABNT NBR 15575-1 (2012)

Considerando que os revestimentos de fachada são um exemplo típico de uma parte do edifício que é manutenível, ou seja, segundo a NBR 15575-1, ABNT (2012, p. 55) “São duráveis, porém necessitam de manutenção periódica, e são passíveis de substituição ao longo da vida útil do edifício”.

E que ainda, o revestimento de fachada é um exemplo típico de, conforme a NBR 15575-1, ABNT (2012, p. 55) “Alto custo de manutenção e/ou reparação, Custo de reposição superior ao custo inicial e o comprometimento da durabilidade afeta outras partes do edifício”, o revestimento de fachada pode ter seu tempo de vida útil de projeto entre 40% e 80% do tempo de vida útil de projeto da estrutura (≥ 50), ou seja, segundo a NBR 15575-1, o tempo de vida útil de projeto para revestimentos de fachada pode variar de mais de 20 a mais de 40 anos.

Com base nestas informações, definiu-se que, para o presente estudo, o sistema de revestimento cerâmico de fachada será classificado como vedação vertical externa, sendo o seu tempo de vida útil ≥ 40 anos, conforme a norma ABNT NBR 15575-1 (2012).

3.9 REVISÃO DE ESTATÍSTICA

Inferência é qualquer processo de diminuição de incerteza que utiliza informação. Quando a informação utilizada é proveniente de dados estatísticos, denomina-se inferência estatística ou estatística matemática. Entende-se por dados estatísticos aqueles originários de experimentos aleatórios, cuja definição formal é vista na teoria das probabilidades. A ideia básica da inferência estatística é pensar que os dados provenientes de uma amostra são resultados de um experimento aleatório e então utilizá-los para inferir sobre medidas desconhecidas de uma população (aquela de onde a amostra foi selecionada) CALLEGARI-JACQUES (2003).

Dado que os dados são resultados de um experimento aleatório é possível, então, medir o grau de incerteza que é inerente de qualquer processo de inferência.

A inferência pode ser dividida em duas grandes áreas: Inferência Paramétrica e Inferência Não Paramétrica. Segundo Siegel e Castellan (2006), na Inferência Paramétrica, suposições importantes e muitas vezes restritivas são feitas para a variável aleatória do problema, como provar a normalidade dos dados desta variável em estudo, por exemplo.

Entende-se por provar a normalidade dos dados, testar se os dados da amostra provêm de uma distribuição normal ou de outra

distribuição de probabilidade que não a normal. No caso da Inferência Não Paramétrica, as suposições são bem mais simples e não é necessário que os dados amostrais apresentem distribuição normal (SIEGEL e CASTELLAN, 2006).

Pode-se dizer ainda, que existem dois tipos ou escolas, de como fazer inferência, seja ela Paramétrica ou Não Paramétrica, a escola Clássica e a escola Bayeysiana.

Resumidamente, as inferências realizadas segundo a escola clássica são baseadas apenas em dados estatísticos, enquanto as realizadas sob o enfoque Bayesiano também podem incluir outras informações (proveniente de estudos anteriores, conhecimento pessoal do pesquisador, entre outros). Além disso, os parâmetros dos modelos são tratados e interpretados de maneira diferente nas duas escolas.

O teste de hipótese formulado para o teste de Kolmogorov-Smirnov foi o seguinte:

$$\begin{cases} H_0: \text{Os dados seguem uma distribuição normal} \\ H_1: \text{Os dados não seguem uma distribuição normal} \end{cases}$$

MORETTIN e BUSSAB (2002) definem *População* como o conjunto de todos os elementos ou resultados possíveis do estudo em questão, compartilhando entre si pelo menos uma característica comum e a *Amostra* é qualquer subconjunto desta população da qual se quer estudar.

Conforme LEVIN (1985), em geral, o pesquisador possui poucos recursos financeiros e de tempo, desta forma, o tamanho da amostra acaba sendo de fundamental importância em estudos amostrais. Neste sentido, amostras grandes demais necessitam de um investimento financeiro alto para sua execução, além de um período maior de tempo. Por outro lado, amostras pequenas se tornam mais viáveis financeiramente e requerem menos tempo para execução, porém podem levar a resultados não confiáveis.

A amostragem é o conjunto de técnicas utilizadas para a seleção de uma amostra da população, podendo ser dividida em dois métodos: A Amostragem Probabilística e a Amostragem Não Probabilística.

Na Amostragem Probabilística, todos os indivíduos da população têm as mesmas chances de serem sorteados para participarem da amostra, podendo assim se generalizar para a população os resultados e conclusões obtidos a partir dos dados da amostra.

Nas técnicas de Amostragem Não Probabilística, não há garantias de que todos os indivíduos da população tenham a mesma probabilidade de serem sorteados para compor a amostra, não sendo possível nestas técnicas generalizar os resultados dos estudos amostrais para a população.

Evidentemente, uma amostra não pode representar perfeitamente uma população. Neste sentido, quando se utiliza uma amostra está se admitindo uma margem de erro que é denominada Erro Amostral.

O Erro Amostral é a diferença entre o valor estimado do parâmetro e o verdadeiro valor populacional do parâmetro (LEVINE *et al* 2000).

O Erro Amostral e o Tamanho da Amostra são inversamente proporcionais quando calculados para o mesmo tamanho de população, ou seja, quanto maior é o tamanho da amostra, menor o erro amostral que se está assumindo e vice-versa.

Lembrando que, como definem MORETTIN e BUSSAB (2002), “*parâmetros* são funções de valores populacionais, enquanto *estatísticas* são funções de valores amostrais”.

Quando se deseja estimar a média populacional, a fórmula para o cálculo do tamanho da amostra é dada pela Equação 1:

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{E} \right)^2 \quad (1)$$

Onde,

n = Número de indivíduos na amostra;

$Z_{\alpha/2}$ = Valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

σ = Desvio padrão populacional da variável estudada;

E = Erro Máximo de Estimativa, identificando a diferença máxima entre a média amostral (\bar{X}) e a verdadeira média Populacional;

Existem outras equações para cálculos de tamanhos de amostra que podem ser utilizadas, dependendo do tipo de problema que se quer resolver, como por exemplo, o parâmetro populacional que se deseja estimar, se o tamanho da população em estudo é conhecido ou não, bem como outros parâmetros populacionais envolvidos no cálculo de tamanho da amostra.

Algumas destas equações podem ser encontradas em MONTGOMERY *et al* (2004) e CALLEGARI-JACQUES (2003).

3.9.1 Intervalo de confiança

Segundo MORETTIN e BUSSAB (2002), apenas com estimativas pontuais torna-se mais desafiante identificar o erro que está sendo cometido, desta forma, é interessante construir os intervalos de confiança para os estimadores pontuais, com base em suas distribuições amostrais.

O Quadro 2 apresenta seis equações para calcular intervalos de confiança para média populacional, onde em três delas a variância populacional é conhecida e em outras três, não se conhece a variância populacional.

Quadro 2 - Resumo dos procedimentos para intervalo de confiança para estimação da média populacional.

Caso	Tipo de problema	Estimativa pontual	Tipo de intervalo de confiança	Intervalo de confiança 100 (1 - α)%
1	Média μ com variância σ^2 conhecida	\bar{x}	Bilateral	$\bar{x} - Z_{\frac{\alpha}{2}} \sigma / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + Z_{\frac{\alpha}{2}} \sigma / \sqrt{n}$
			Unilateral inferior	$\bar{x} - Z_{\frac{\alpha}{2}} \sigma / \sqrt{n} \leq \mu$
			Unilateral superior	$\bar{x} + Z_{\frac{\alpha}{2}} \sigma / \sqrt{n} \leq \mu$
2	Média μ de uma distribuição normal com variância σ^2 desconhecida	\bar{x}	Bilateral	$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} s / \sqrt{n} \leq \mu \leq \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} s / \sqrt{n}$
			Unilateral inferior	$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} s / \sqrt{n} \leq \mu$
			Unilateral superior	$\bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2}, n-1} s / \sqrt{n} \leq \mu$

Fonte: Adaptado de MONTGOMERY *et al* (2004).

Supondo que se deseja estimar a média populacional μ . Uma estimativa por intervalo para μ será $l \leq \mu \leq u$, onde l e u dependerão do valor estimado da média \bar{x} através de uma amostra (MONTGOMERY *et al* 2004).

Como cada amostra resultará em valores diferentes de \bar{x} , os valores de l e u tornam-se variáveis aleatórias L e U , onde seus valores

poderão ser determinados através da distribuição amostral da média da amostra \bar{x} .

O tipo de intervalo de confiança poderá ser Bilateral, quando se está interessado em testar se o valor do parâmetro que está sendo estimado é igual ou diferente do verdadeiro valor do parâmetro, sem importar se o valor estimado é maior ou menor que o verdadeiro valor.

Quando há o interesse em saber se o valor estimado do parâmetro é menor ou maior que o verdadeiro valor do parâmetro populacional, são utilizados os intervalos de confiança Unilateral inferior e Unilateral superior, respectivamente.

A estimação por intervalo de confiança resulta em uma informação mais ampla do parâmetro que está sendo estudado. Segundo MONTGOMERY et al (2004), quando um número infinito de amostras aleatórias forem coletadas e um intervalo de confiança $100(1 - \alpha)\%$ para o parâmetro desejado for calculado a partir de cada amostra, então em $100(1 - \alpha)\%$ desses intervalos conterão o valor verdadeiro do parâmetro desejado.

3.9.2 Análise de variância (ANOVA)

A análise de variância (ANOVA) é uma poderosa ferramenta estatística desenvolvida por R.A. Fisher, sendo utilizada quando se deseja comparar médias entre mais de dois grupos experimentais (CALLEGARI-JACQUES, 2003), onde a hipótese nula (H_0) é de que todos os grupos experimentais possuem médias iguais e a hipótese alternativa (H_1) é de que pelo menos um grupo apresenta média diferente dos demais grupos.

O teste de hipótese pode ser representado da seguinte forma:

$$\begin{cases} H_0: \mu_A = \mu_B = \mu_C = \dots = \mu_i \\ H_1: \text{Pelo menos umas das médias é significativamente diferente das demais} \end{cases}$$

onde

μ_A = média do grupo A;

μ_B = média do grupo B;

μ_C = média do grupo C;

μ_i = média do grupo i;

i = número de grupos experimentais.

Em um primeiro momento, pode parecer correto realizar vários testes *t* de *Student* entre os grupos, comparando-os dois a dois, porém a utilização do teste *t* nesta situação é estatisticamente inadequado, pois o teste *t* foi delineado para comparar uma média A com uma e apenas uma média B (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Segundo Callegari-Jacques (2003), no teste *t*, a probabilidade de se cometer o erro do tipo I (afirmar que existe diferença significativa entre as médias no grupo A e B, quando ela não existe) é de α . Caso seja feita mais de uma comparação envolvendo a média A, a probabilidade de se cometer o erro do tipo I será maior que α .

Em seu estudo, pressupondo amostras grandes e variâncias iguais, Pearson (1942) comprovou que a probabilidade de se cometer o erro de conclusão do tipo I, aumenta a medida que se aumentam os números de médias que estão sendo comparadas e os novos valores de α são apresentados na Tabela 2.

Assim, para evitar esse aumento no nível global de significância do experimento, o procedimento correto é utilizar a Análise de Variância e comprovada a hipótese de que pelo menos uma das médias dos *k* grupos é significativamente diferente, utilizar algum teste de comparação múltipla entre as médias (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Tabela 2 - Probabilidade de se cometer ao menos um erro do tipo I, usando teste *t* para comparar duas a duas, todas as médias de um experimento com *k* grupos.

Número de médias (<i>k</i>)	Nível de significância usado no teste		
	0,05	0,01	0,001
2	0,05	0,01	0,001
3	0,14	0,03	0,003
4	0,26	0,06	0,006
5	0,40	0,10	0,010
6	0,54	0,14	0,015
10	0,90	0,36	0,044

Fonte: Zar, 1999; p.178.

A ANOVA consiste em uma gama de modelos estatísticos onde a variação total entre os valores obtidos no experimento é particionada em diversos componentes identificáveis. Cada componente atribui sua

variação a uma causa ou fonte de variação, onde o número de fatores ou causas de variação dependerá do delineamento a ser utilizado.

Basicamente, existem três modelos de ANOVA, sendo eles: Modelo com Efeitos Fixos, podendo ser de um ou dois fatores, Modelo com Efeitos Aleatórios, também podendo ser para um ou dois fatores, e Modelo com Efeitos Mistos, onde neste modelo trabalha-se apenas com dois fatores.

A ideia básica da ANOVA é verificar a variação das médias dentro dos grupos e entre os grupos, em relação à média geral de todos os indivíduos envolvidos no experimento. Segundo LEWIS (1995), quando a variação entre os grupos for maior que a variação dentro dos grupos, existe diferença estatística significativa entre as médias dos grupos envolvidos no experimento.

O cálculo para identificar esta diferença é chamado de razão F de variância, em homenagem a Fisher. Este resultado F é comparado com um valor tabelado de referência, utilizado para rejeitar ou não a hipótese de igualdade das médias dos grupos pesquisados (LEWIS, 1995).

Quando se rejeita a hipótese nula de igualdade de médias entre os grupos, a ANOVA não identifica em quais grupos existe a diferença. Para isto, é necessário utilizar um teste de comparação múltipla entre as médias (BUSSAB, 1988).

Para esta finalidade existem alguns testes estatísticos, entre eles, os testes de Tukey (dados balanceados); Teste de Tukey-kramer (dados não balanceados); Teste de Dunnett; Teste de Scheffe, Teste de Fisher e Teste de Bonferroni.

Segundo CALLEGARI-JACQUES (2003), a utilização da ANOVA está condicionada a duas pressuposições: a variável em estudo precisa apresentar distribuição normal e é necessário haver homocedasticidade, ou seja, as variâncias amostrais devem ser semelhantes nas diferentes amostras.

Devido à robustez estatística do procedimento, a ANOVA acaba fornecendo resultados confiáveis mesmo com heterocedasticidade, desde que os tamanhos amostrais dos grupos estudados sejam iguais ou aproximadamente iguais.

Quando os tamanhos das amostras são grandes, a robustez da ANOVA também permite resultados confiáveis mesmo quando a variável em estudo apresenta uma distribuição bastante desviada da normal (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Quando os dados amostrais não satisfazem as pressuposições acima indicadas, a melhor solução é utilizar uma transformação nos

dados ou um teste não-paramétrico, neste caso, o teste de Kruskal-Wallis.

4 METODOLOGIA

4.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

No presente estudo foi utilizado o planejamento e análise estatística de experimentos com um único fator, sendo este o tempo de exposição do revestimento cerâmico ao ensaio de degradação acelerada, em cinco níveis (números de dias em exposição a variação de temperatura e umidade) sendo a variável resposta a resistência de aderência à tração da argamassa do sistema de revestimento cerâmico de fachada.

A Tabela 3 apresenta os níveis da variável do experimento.

Tabela 3 - Variável do experimento.

Variável	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
Tempo de exposição (dias)	33	66	99	132	165

Fonte: O Autor, 2015.

Foram avaliados o conjunto substrato, argamassa e a 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 a variável tempo de exposição.

A Tabela 4 mostra a matriz do experimento.

Tabela 4 - Matriz do Experimento.

Nº de placas cerâmicas	Tempo de exposição (dias)	Nº Ciclos	Estimativa de anos de uso da fachada
n = 16	33	731	≅ 8
n = 16	66	1462	≅ 16
n = 16	99	2193	≅ 24
n = 16	132	2924	≅ 32
n = 16	165	3655	≅ 40

Fonte: O Autor, 2015.

Os cálculos do tempo de exposição (em dias) e o número de dias serão apresentados no item 4.3.1.

Os materiais selecionados para compor o corpo de prova foram materiais padrão e disponíveis no mercado. Dessa forma, a argamassa empregada foi uma composição comercial atualmente disponível no mercado. Apenas um tipo de revestimento cerâmico foi utilizado no experimento, devido às limitações de tempo de ensaio de exposição e capacidade do equipamento. O grupo de absorção do material utilizado foi o BIIb, que é o material mais comumente aplicado em fachadas na região (SILVA, 2014).

4.2 ENSAIOS DE DEGRADAÇÃO ACELERADA

4.2.1 Estrutura do ensaio

Foi construído um sistema de revestimento cerâmico de fachada para a avaliação da degradação acelerada, sendo este composto por substrato de cimento, argamassa e placas cerâmicas. As condicionantes umidade e temperatura foram utilizadas para avaliar o comportamento do sistema no que se refere ao desempenho de durabilidade.

O substrato-padrão para ensaios de aderência utilizado neste estudo foi o substrato de cimento padronizado da ABCP, indicado pela norma ABNT NBR 14081-2 (ABNT, 2012), com espessura de 25 mm e dimensões de 250 mm x 500 mm.

Existem duas possibilidades de revestimento cerâmico para áreas externas de fachada, que são semi grés e porcelanato (PORTOBELLO, 2015). Segundo SILVA (2014), as empresas cerâmicas de grande porte informaram que o semi grés é o revestimento cerâmico mais utilizado devido a maior facilidade de assentamento, ao menor custo de investimento em obras comparado ao porcelanato e a seus tamanhos, conhecidos como pastilhas, que são de fácil aplicação.

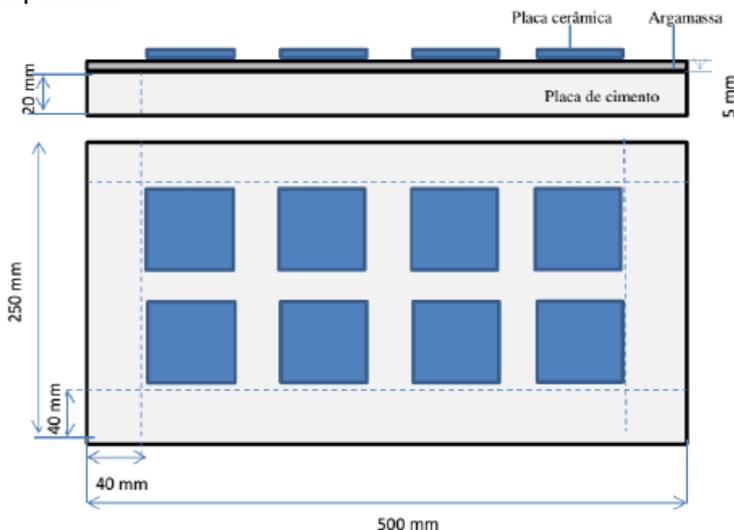
Diante disto, a placa cerâmica utilizada neste estudo foi do tipo semi grés (Classe BIIa), abrangendo grupo de absorção de água da faixa de 3% <AA< 6%, conforme classificação definida na norma ABNT NBR 13818, (ABNT, 1997).

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 as placas cerâmicas do tipo semi grés descritas anteriormente.

A argamassa utilizada para a colagem pertence à classe ACIII, sendo esta, juntamente com a classe ACII, as recomendadas para aplicação em ambiente externo, de acordo com a norma ABNT NBR 14081-1 (ABNT, 2012).

Seguindo os requisitos determinados na norma ABNT NBR 14081-4 (ABNT, 2012), a distribuição adotada para os revestimentos cerâmicos sobre a superfície das placas de cimento foi realizada conforme representado na Figura 6.

Figura 6 - Representação esquemática do corpo de prova para o experimento.

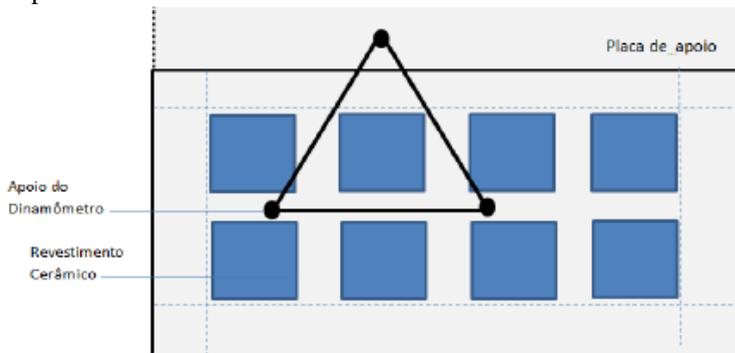


Fonte: SILVA, 2014

Esta distribuição dos revestimentos cerâmicos faz-se necessária devido à utilização do dinamômetro para a realização do ensaio de arrancamento (Figura 7).

Desta forma, para o teste de degradação acelerada, o sistema de revestimento cerâmico foi formado pela placa de cimento de 20 mm de espessura, por uma camada de 5 mm de argamassa da classe ACIII e pelo revestimento cerâmico do tipo semi grés, do grupo de absorção BIIa, representado na Figura 6.

Figura 7 - Esquema dos apoios do aparelho de tração sobre a superfície da amostra.



Fonte: SILVA, 2014.

4.2.2 Preparação dos corpos de prova

4.2.2.1 Condicionamento dos materiais

Os substratos de cimento, a argamassa e os revestimentos cerâmicos foram armazenados no Laboratório de Materiais de Construção Civil IDT/UNESC, em local seco e protegido da ação de intempéries, 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 Preparo da argamassa colante

A composição da argamassa seguiu os mesmos critérios de preparação adotados pelo próprio fabricante, sendo utilizados 3,6 litros de água, para cada 20 kg de argamassa.

A argamassa foi preparada no Laboratório de Materiais de Construção Civil IDT/UNESC, de acordo com o descrito na norma ABNT NBR 14081-2 (ABNT, 2012), seguindo os seguintes passos:

- a) os materiais e a aparelhagem permaneceram no laboratório durante 24h antes do início dos ensaios;
- b) antes do início dos ensaios, foi transferido o conteúdo total de argamassa colante para um saco plástico maior, limpo, seco e resistente, fechando a boca do saco, evitando a saída de ar, e agitado energeticamente

por 3 min aproximadamente, para dispersar os aglomerados. Aguardou-se aproximadamente 2 min após a agitação para a execução dos ensaios;

a) os materiais e a aparelhagem permaneceram no laboratório durante 24 h antes do início dos ensaios;

b) antes de iniciarem os ensaios, foi transferido o conteúdo total de argamassa colante para um saco plástico maior, limpo, seco e resistente, fechado a boca do saco, evitando a saída de ar, e agitado energeticamente por 3 min aproximadamente, para dispersar os aglomerados. Aguardou-se aproximadamente 2 min após a agitação para a execução dos ensaios;

c) pesou-se 2,500 kg de argamassa colante;

d) pesou-se 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 estava a temperatura de $24 \pm 1^\circ\text{C}$;

e) verteu-se a água no recipiente de mistura limpo e seco;

f) colocou-se o material seco sobre o líquido, de modo contínuo dentro de um período de 30 s e acionou-se o misturador na velocidade baixa;

g) misturou-se por 30 s e desligou-se o misturador;

h) raspou-se toda a superfície interna do recipiente e da pá e reunificou-se a massa em um intervalo de 60 s;

i) misturou-se por mais 60 s na velocidade baixa.

Deixou-se o material em maturação, coberto por pano úmido, durante intervalo de tempo especificado pelo fabricante, que foi de 15 min. Em seguida, ligou-se o equipamento e misturou-se na velocidade baixa por 15 s.

Preparou-se a quantidade necessária de argamassa para o assentamento das 128 placas cerâmicas nos 16 substratos padrão usados no estudo, utilizando um misturador planetário, tipo bateadeira (Figura 8) em velocidade baixa durante os tempos determinados na norma.

Figura 8 - Misturador planetário utilizado no preparo da argamassa.



Fonte: O Autor, 2015.

As condições ambientais do laboratório foram monitoradas por meio de termômetro, atendendo parcialmente a temperatura ambiente de $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ descrita na norma ABNT NBR 14081 – 2 (ABNT, 2012), item 5.1 “Condições ambientais do Laboratório”, e a velocidade do ar foi assegurada pelo procedimento ser executado em ambiente fechado sem circulação de ar.

4.2.2.3 Aplicação da argamassa e colagem dos revestimentos cerâmicos

A pasta de argamassa foi aplicada em cada uma das 16 placas de cimento conforme orientações da norma ABNT NBR 14081-2 (ABNT, 2012), colocando porções de argamassa colante sobre a face despenhada do substrato padrão, estendendo-as com o lado liso da desempenadeira, em movimentos de vaivém, até formar uma camada uniforme com espessura suficiente para a formação dos cordões.

Após a camada uniforme de argamassa colante formada, com o lado dentado da desempenadeira, foram formados os cordões com altura de aproximadamente $5\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$, no sentido longitudinal do substrato (Figura 9).

Figura 9 - Aplicação da argamassa colante



Fonte: O Autor, 2015.

Foram posicionadas 8 peças cerâmicas limpas e secas sobre os cordões com altura de $5 \pm 0,5$ mm. As placas cerâmicas quadradas, com 50 mm de lado, foram distribuídas de modo a ficarem a uma distância de 6 cm entre elas e de 4 cm entre as arestas das placas e a borda mais próxima do substrato padrão. Cada peça cerâmica foi centralizada com peso padrão de 2 kg durante 30 s (Figura 10).

Figura 10 - Fotografia do corpo de prova recebendo o peso padrão.



Fonte: O Autor, 2015.

Após a colocação das peças cerâmicas, deixou-se aproximadamente 1 cm de camada ao redor da peça cerâmica e retirou-se a camada excedente (Figura 11). Realizou-se esta operação no máximo 10 min após o final da operação de colocação das peças cerâmicas.

A aplicação de 8 peças cerâmicas por substrato em vez de 10 peças, conforme indica a ABNT NBR 14081-4 (ABNT, 2012), foi adotada em virtude da necessidade de acoplamento do modelo de dinamômetro digital disponível para o estudo.

Figura 11 - Fotografia de 3 corpos de prova após retirada da camada excedente.



Fonte: O Autor, 2015.

Os 16 corpos de prova ficaram em cura em laboratório durante 28 dias após o assentamento das placas, 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 horizontal.

4.3 ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO

O ensaio de envelhecimento acelerado consiste em submeter os corpos de prova a condições extremas de temperatura e umidade de modo a provocar a sua rápida degradação. Durante a realização do estudo de SILVA (2014), foi desenvolvida e construída uma câmara programável pelo Laboratório de Materiais de Construção Civil IDT/UNESC. Este equipamento foi utilizado para a realização do ensaio de envelhecimento acelerado deste estudo.

Após o período de cura, foram colocados 10 corpos de prova no suporte da câmara de envelhecimento acelerado, com a face revestida voltada para o centro.

Para simular as condições de temperatura ambiente, o equipamento funcionou com temperaturas entre $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$

O diâmetro dos furos para a pulverização são de 1,5 mm, ocorrendo a pulverização entre 0 e 30 L/min. Foram utilizados três termopares do tipo K, aplicados nas amostras para o acompanhamento e leituras das temperaturas no interior da câmara.

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.

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

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

4.3.1 Procedimento de Ensaio

Os corpos de prova foram submetidos aos ciclos de envelhecimento acelerado, divididos em ciclos de chuva, resfriamento e aquecimento, sendo os tempos em cada um destes ciclos adaptados do estudo de SILVA (2014), para um tempo de uso em obras de 40 anos.

Desta forma, para a definição do número de ciclos, com base em SILVA (2014), foram considerados 90 dias por ano de temperaturas extremas, 1500 L/m² de chuva anual na região Sul, 40 anos de tempo de obra em uso e calculou-se:

$$\frac{90 \text{ dias}}{1 \text{ ano}} \times 40 \text{ anos} = 3600 \text{ dias}$$

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

$$3600 \text{ ciclos} \times \frac{65 \text{ min}}{\text{ciclo}} \times \frac{1 \text{ dia}}{1440 \text{ min}} \cong 163 \text{ dias}$$

Sendo assim, os 10 corpos de prova ficarão em um máximo de 165 dias dentro da câmara de envelhecimento acelerado, sendo feito ao todo 5 retiradas de 2 corpos de prova por retirada, após 33, 66, 99, 132 e 165 dias de colocação dentro do equipamento.

Para o cálculo de definição do ciclo de resfriamento, foi considerado um índice pluviométrico de 1500 L/m² ano e a área total de 1,25m², considerando as 10 placas de cimento submetidas à exposição, calculou-se:

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

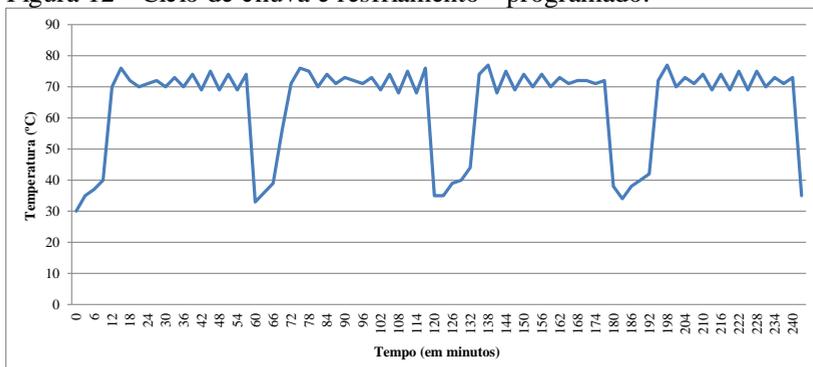
Assim a quantidade necessária de litros para simular 40 anos será:

$$\frac{1875 L}{1 \text{ ano}} \times 40 \text{ anos} = 33750 L$$

Para 3600 ciclos, considerando a medição de vazão da bomba de 0,07 L/s, tem-se:

$$\frac{33750 L}{3600 \text{ ciclos}} \times 20,8 \frac{L}{\text{ciclo}} \cong 5 \text{ min de bomba ligada}$$

Figura 12 - Ciclo de chuva e resfriamento - programado.



Fonte: O Autor, 2015.

A Figura 12, representa o gráfico da variação da temperatura e simulação da ação da “chuva” durante os ciclos programados na câmara de envelhecimento acelerado.

4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO/ARRANCAMENTO

Todas as 128 peças cerâmicas, distribuídas 8 a 8 nos 16 corpos de prova foram submetidas aos ensaios de arrancamento, identificando assim a força necessária para provocar a ruptura de uma determinada área do revestimento cerâmico.

Com os valores da carga de força de ruptura, expressa em newtons, e as áreas de cada peça de revestimento cerâmico, foi calculada a tensão de ruptura, arredondada à segunda decimal, expressa em mega Pascals (MPa), sendo esta a variável resposta deste estudo.

Durante o ensaio também foram avaliados os tipos de rupturas, que são classificados de acordo com a ABNT NBR 14084-4 (ABNT, 2012) 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.

O ensaio foi realizado de acordo com a ABNT NBR 14084-4 (ABNT, 2012), com a utilização de um dinamômetro com capacidade de 5 kN e velocidade de 250 ± 50 N/s, do Laboratório de Materiais de Construção Civil IDT/UNESC

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

No presente trabalho, foram utilizados testes e análises estatísticas da escola Clássica, bem como a Inferência Paramétrica, pois através da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov, todos os dados do estudo apresentaram distribuição normal.

A Análise de Variância (ANOVA) foi utilizada para verificar a existência ou não de diferença significativa entre as médias de resistência de aderência a tração apresentada nas placas cerâmicas que foram expostas a degradação acelerada, em algum dos 5 tempos de exposição utilizados (33, 66, 99, 132 e 165 dias de exposição), além da resistência média das placas que não foram expostas a degradação (0 dias de exposição).

O Teste de Tukey foi usado para identificar em qual(is) grupo(s) (Tempos de exposição ao processo de degradação acelerada) existe a diferença significativa apontada pela ANOVA.

O Teste *t* de *Student* foi aplicado com o objetivo de verificar se existe diferença significativa entre as médias de resistência de aderência a tração nas placas submetidas ao ensaio de envelhecimento acelerado e de arrancamento, com os valores médios de resistência a tração das placas que não foram expostas ao ensaio de envelhecimento acelerado.

Todos os testes estatísticos foram aplicados com um nível de significância (α) de 5% e intervalo de confiança de 95%.

Originalmente chamado de *Statistical Package for Social Sciences*, o pacote estatístico IBM SPSS é uma ferramenta para análise de dados utilizando técnicas estatísticas básicas e avançadas. É um software estatístico de fácil manuseio, em um ambiente amigável utilizando-se de menus e janelas de diálogo, que permite realizar cálculos complexos e visualizar seus resultados de forma simples e autoexplicativa.

Atualmente, o IBM SPSS está na versão 22.0, porém para este estudo, será utilizada a versão 18.0, que é a versão utilizada pelos Laboratórios da UNESC.

No IBM SPSS existe a opção de importar banco de dados já existentes em outros tipo de programas, como Excel, SAS, dBase, Text, Stata e Lotus, por exemplo.

Pode-se também elaborar o banco de dados no próprio SPSS, criando e recodificando as variáveis conforme a coleta de dados realizada para o estudo, bem como selecionar casos para análises, repetindo a análise para grupos de casos diferentes.

Com o SPSS é possível gerar desde resultados básicos de estatística, como tabelas de frequência, tabelas descritivas, histogramas e box-plot, por exemplo, até testes mais sofisticados, como análise de correspondência, análise fatorial e regressão logística. O SPSS também conta com muitos testes estatísticos Não-Paramétricos.

4.6 ANÁLISE TÉRMICA

A Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG) foi realizada em equipamento TA Instruments Q600, com uma taxa de 10° C/min em ar sintético.

4.7 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARELURA (MEV)

As amostras foram caracterizadas utilizando equipamento Zeiss MA10, com espectroscopia de energia dispersiva (EDS, Bruker QUANTAX 200).

4.8 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

Os difratogramas foram obtidos utilizando equipamento Shimadzu modelo XRD-6000 usando tubo de cobre, corrente 30 mA e 30 kV de aceleração. As fases foram identificadas por comparação de um perfil desconhecido com o conjunto padrão de difração coletadas e mantidas pela Comissão Conjunta sobre Padrões de Difração de Pós (JCPDS).

4.8 INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

O FTIR foi realizado com equipamento modelo IR Prestige-21 da Shimadzu. Os corpos de prova foram preparados utilizando brometo de potássio com 1% em peso (KBr). Os espectros foram obtidos na região de 4000 a 400 cm^{-1} .

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

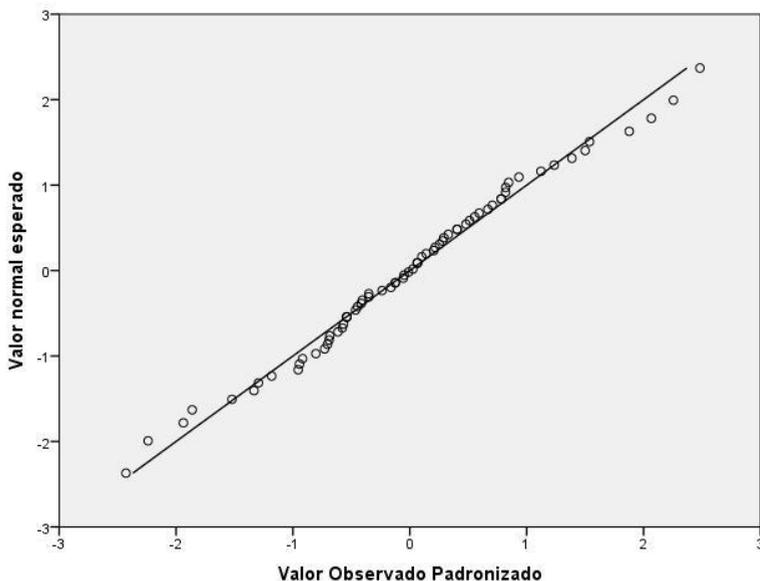
Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados finais do ensaio de envelhecimento acelerado, através dos itens subsequentes.

5.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

5.1.1 Análise de Variância (ANOVA)

Com o objetivo de verificar se os dados da variável de interesse do estudo, neste caso a resistência de aderência à tração da argamassa, obtida no teste de arrancamento das 70 placas que foram expostas a degradação acelerada provém de uma distribuição normal, foi aplicado o teste de Kolmogorov-Smirnov, com 95% de confiança e nível de significância de 5%.

Figura 13 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa).



Fonte: O Autor, 2015.

O teste de Kolmogorov-Smirnov não rejeitou a hipótese de normalidade dos dados de resistência de aderência à tração (p-valor =

0,516) e analisando a Figura 13 podemos verificar que os valores observados padronizados da amostra estão bem próximos da reta de valores normais esperados, comprovando a normalidade dos dados.

Com a normalidade dos dados amostrais comprovada, podemos utilizar as análises estatísticas paramétricas.

Inicialmente, uma análise descritiva dos dados foi realizada, com o intuito de facilitar a interpretação dos mesmos e a aplicação do modelo da ANOVA. Na Tabela 5 constam as principais estatísticas descritivas para os dados de resistência de aderência a tração, onde é possível identificar uma variação maior nos dados coletados nas placas cerâmicas que ficaram 66 e 99 dias expostas a degradação acelerada, bem como os dados das placas que não foram expostas ao envelhecimento acelerado, observando o elevado desvio padrão em relação à média, bem como os valores de mínimo e máximo.

Tabela 5 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), segundo tempo de exposição.

Tempo de exposição (em dias)	Número de peças	Média	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
0	38	1,3385	0,3154	0,6500	1,8000
33	14	1,4671	0,1719	1,2000	1,7600
66	14	1,2143	0,2983	0,7100	1,6500
99	14	1,5671	0,2838	1,1100	2,0100
132	14	1,1993	0,1962	0,8400	1,4400
165	14	1,3168	0,1531	1,1030	1,5768

Fonte: O Autor, 2015.

A Figura 14 apresenta os valores médios de resistência de aderência à tração da argamassa em função do tempo de exposição ao envelhecimento acelerado, bem como o intervalo de confiança de 95%, construído a partir da distribuição *t* de *Student*.

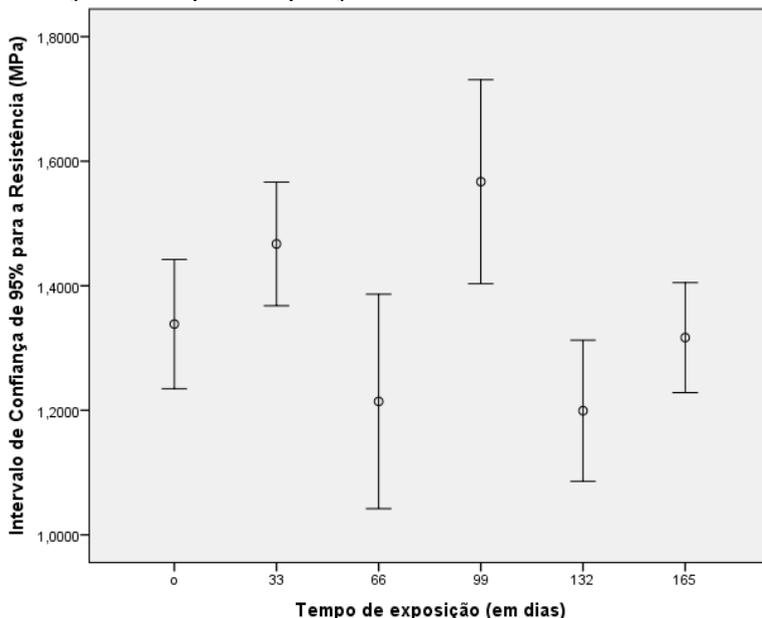
Um dos objetivos do presente estudo é avaliar se o tempo de exposição a degradação acelerada provoca alterações significativas na resistência de aderência a tração das placas cerâmicas submetidas ao teste de arrancamento.

De forma similar ao observado na Figura 14, Silva (2014), Oliveira (2004) e Jenni (2006) também constataram em seus trabalhos

esse comportamento inesperado, onde inicialmente ocorreu uma redução da resistência média de aderência a tração da argamassa e com o passar o tempo o comportamento passou a oscilar entre aumento e diminuição da resistência.

Ainda analisando a Figura 14, temos indícios de que o tempo de exposição influenciou nos valores de resistência, pois podemos observar que os intervalos de confiança das resistências médias das placas cerâmicas expostas a 99 e 132 dias, por exemplo, não se sobrepõem, evidenciando que as médias são significativamente diferentes. Para verificar se estes indícios são estatisticamente significativos, a Análise de Variância (ANOVA) foi aplicada.

Figura 14 - Resistências médias (MPa) e Intervalo de confiança de 95%, em função do tempo de exposição ao envelhecimento acelerado.



Obs.: 0 (sem exposição à câmara de envelhecimento).

Fonte: O Autor, 2015.

Neste estudo, os níveis de tempo de exposição foram especificados e fixados pelo pesquisador, desta forma, as hipóteses testadas correspondem a apenas estes níveis e as conclusões não podem

ser estendidas para outros níveis não considerados no experimento (modelo de efeito fixo).

No presente trabalho, a hipótese nula a ser testada é de que todas as médias de resistências de aderência a tração encontrada nos cinco ciclos são estatisticamente iguais e a hipótese alternativa é de que pelo menos uma destas médias é diferente entre os ciclos.

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \\ H_1: \text{Pelo menos uma das médias é diferente das demais} \end{cases}$$

O resultado da ANOVA evidencia a existência de diferença significativa (p-valor = 0,000) entre pelo menos uma das médias de resistência de aderência a tração apresentada nas placas cerâmicas que foram expostas a degradação acelerada. Cabe destacar que em seu estudo, Silva (2014) também evidenciou que o tempo de exposição ao processo de degradação acelerado foi significativo em relação ao desempenho da aderência do sistema de revestimento cerâmico de fachada.

Tabela 6 - Análise de Variância (ANOVA).

Fonte da variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Estatística F	p-valor
Entre Grupos (Tempo de Exposição)	1,443	4	0,361	6,910	0,000
Dentro dos grupos	3,393	65	0,052		
Total	4,836	69			

Fonte: O Autor, 2015.

Para identificar em qual(is) grupo(s) existe esta diferença significativa, foi realizado o Teste de Tukey e o resultado encontra-se no Quadro 3. Da análise do teste de Tukey pode-se concluir que:

A resistência média apresentada pelas placas cerâmicas que foram expostas a 33 dias de degradação é significativamente diferente da resistência média das placas expostas por 66 dias (p-valor = 0,037) e por 132 dias (p-valor = 0,023).

A resistência média apresentada pelas placas cerâmicas que foram expostas a 66 dias de degradação é significativamente diferente da resistência média das placas expostas por 33 dias (p-valor = 0,037) e por 99 dias (p-valor = 0,001).

A resistência média apresentada pelas placas cerâmicas que foram expostas a 99 dias de degradação é significativamente diferente da resistência média das placas expostas por 66 dias (p-valor = 0,001), por 132 dias (p-valor = 0,001) e por 165 dias (p-valor = 0,039).

A resistência média apresentada pelas placas cerâmicas que foram expostas a 132 dias de degradação é significativamente diferente da resistência média das placas expostas por 33 dias (p-valor = 0,023) e expostas 99 dias (p-valor = 0,001).

Quadro 3 – Resultados do Teste de Tukey.

(I) Dias	(J) Dias	Diferença entre as médias (I-J)	P-valor	Intervalo de confiança de 95%	
				Limite Inferior	Limite Superior
33	66	0,2528571*	0,037	0,010546	0,495169
	99	-0,1000000	0,775	-0,342311	0,142311
	132	0,2678571*	0,023	0,025546	0,510169
	165	0,1503758	0,416	-0,091936	0,392687
66	33	-0,2528571*	0,037	-0,495169	-0,010546
	99	-0,3528571*	0,001	-0,595169	-0,110546
	132	0,0150000	1,000	-0,227311	0,257311
	165	-0,1024814	0,759	-0,344793	0,139830
99	33	0,1000000	0,775	-0,142311	0,342311
	66	0,3528571*	0,001	0,110546	0,595169
	132	0,3678571*	0,001	0,125546	0,610169
	165	0,2503758*	0,039	0,008064	0,492687
132	33	-0,2678571*	0,023	-0,510169	-0,025546
	66	-0,0150000	1,000	-0,257311	0,227311
	99	-0,3678571*	0,001	-0,610169	-0,125546
	165	-0,1174814	0,655	-0,359793	0,124830
165	33	-0,1503758	0,416	-0,392687	0,091936
	66	0,1024814	0,759	-0,139830	0,344793
	99	-0,2503758*	0,039	-0,492687	-0,008064
	132	0,1174814	0,655	-0,124830	0,359793

Fonte: O Autor, 2015.

A resistência média apresentada pelas placas cerâmicas que foram expostas a 165 dias de degradação é significativamente diferente apenas da resistência média das placas expostas por 99 dias (p -valor = 0,039).

Todos os resultados encontrados com o Teste de Tukey corroboram com a Figura 14.

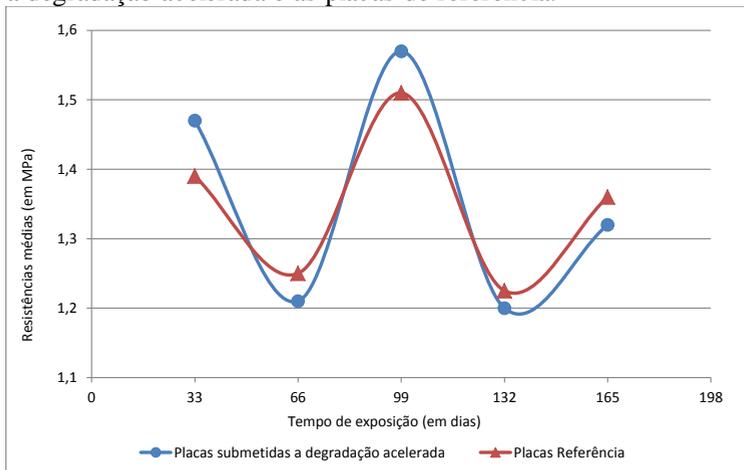
Calculando o coeficiente de determinação (R^2) para o modelo ajustado da ANOVA, encontramos o valor de $R^2 = 0,2984$, ou seja, 29,84% da variação média das resistências de aderência a tração das placas cerâmicas expostas ao envelhecimento acelerado é explicada pela variação térmica e de umidade em que as placas ficaram expostas dentro da máquina de envelhecimento acelerado.

Um valor acima de 70% representa que o modelo está explicando bem a variação da variável resposta com base nos fatores estudados, o que não ocorreu neste estudo, evidenciando que existem outros fatores que contribuem para a variação da resistência de aderência a tração da argamassa e que não foram quantificados neste estudo.

5.1.2 Análise estatística por ciclo

Como pode ser observado na Figura 15, aparentemente os valores de resistências médias das placas cerâmicas expostas ao envelhecimento acelerado durante 66, 132 e 165 dias, são menores comparados aos valores médios de resistência das placas que não foram expostas a degradação acelerada.

Figura 15 - Comparação entre as resistências médias das placas expostas a degradação acelerada e as placas de referência.



Fonte: O Autor, 2015.

E as placas que ficaram 33 dias e 99 dias dentro da máquina de envelhecimento acelerado apresentaram valor médio de resistência um pouco maior que o valor médio das placas de referência.

Para verificar se estas diferenças são estatisticamente significativas, foram realizados os testes *t* de *Student*, comparando os valores médios de resistências de aderência a tração das placas cerâmicas submetidas ao ensaio de arrancamento, em cada um dos 5 ciclos comparadas com os valores médios de resistências das placas do seu respectivo substrato de referência. Antes do teste *t* de *Student*, foi realizado o teste de *Kolmogorov-Smirnov*, para verificar se os dados de resistência de aderência à tração provêm de uma distribuição normal.

5.1.2.1 Análise estatística ciclo 1 (33 dias) versus branco

O teste de *Kolmogorov-Smirnov* não rejeitou a hipótese de normalidade dos dados de resistência de aderência à tração das peças cerâmicas que ficaram 33 dias na máquina de envelhecimento acelerado e das peças que não foram expostas a degradação acelerada (p -valor = 0,834). Analisando a Figura 16 podemos verificar que os valores observados padronizados da amostra estão bem próximos da reta de valores normais esperados, comprovando a normalidade dos dados.

Analisando descritivamente os dados é possível observar (Tabela 7) que a resistência média das peças que foram submetidas a degradação acelerada por 33 dias (Máquina) é maior que a média de resistência das peças que ficaram fora da máquina durante 33 dias (Branco).

Tabela 7 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 1 (33 dias).

Tratamento	Número de peças	Média	Desvio padrão	Variância
Branco	14	1,3864	0,3697	0,1367
Máquina	14	1,4671	0,1719	0,0295

Fonte: O Autor, 2015.

Através do teste t de *Student* será verificado se a resistência média das peças cerâmicas submetidas a degradação acelerada durante 33 dias é significativamente diferente da resistência média das peças cerâmicas que não foram para a máquina de envelhecimento acelerado, podendo o teste de hipótese ser escrito da seguinte maneira:

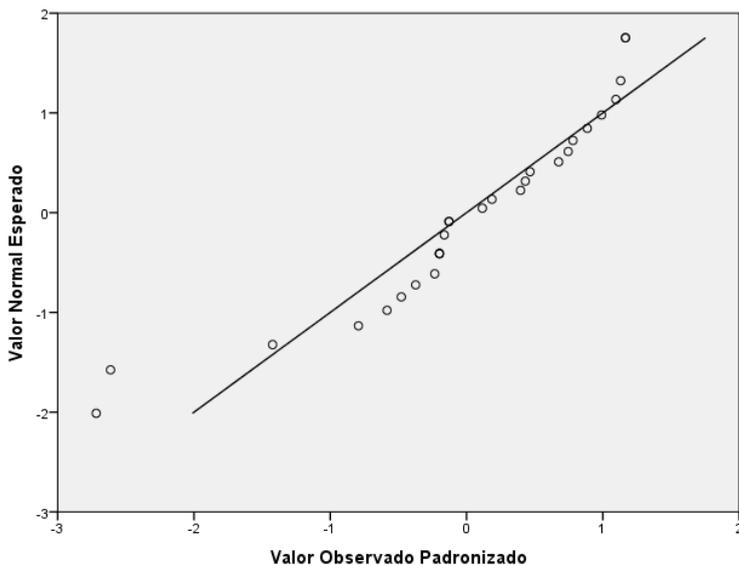
$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_{b1} \\ H_1: \mu_1 \neq \mu_{b1} \end{cases}$$

onde,

μ_1 : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 1 (33 dias) que foram submetidas a degradação acelerada;

μ_{b1} : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 1 (branco) que não foram submetidas a degradação acelerada;

Figura 16 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 33 dias na máquina *versus* branco



Fonte: O Autor, 2015.

Antes da utilização do teste *t* de *Student* é necessário testar se as variâncias dos dois grupos são iguais ou diferentes, para isto foi aplicado o teste de *Levene*, onde se pode concluir que as variâncias são diferentes (p-valor = 0,039) nos dois grupos testados (ciclo 1 e branco).

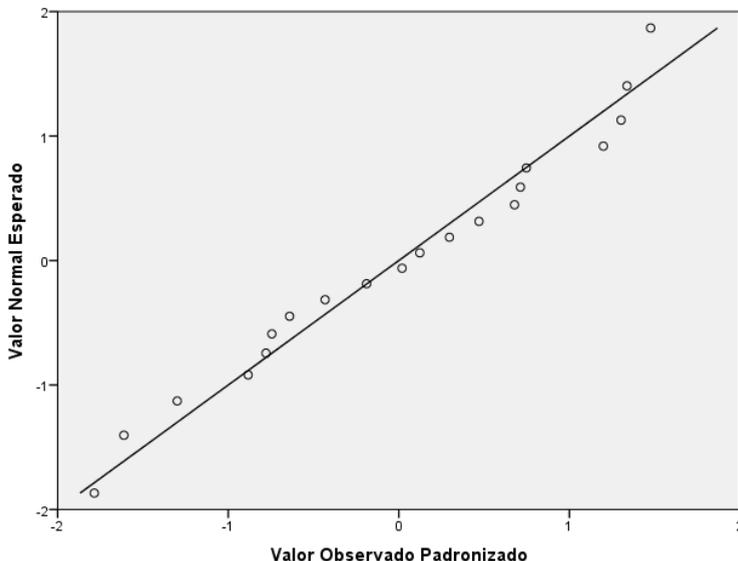
Assim o teste *t* de *Student* assumindo variâncias diferentes foi aplicado, identificando que não existe evidência estatística suficiente para afirmar que a resistência média das peças expostas a degradação acelerada é diferente da resistência média das peças que não foram expostas a degradação (p-valor = 0,468).

5.1.2.2 Análise estatística ciclo 2 (66 dias) *versus* branco

O teste de *Kolmogorov-Smirnov* não rejeitou a hipótese de normalidade dos dados de resistência de aderência à tração das peças cerâmicas que ficaram 66 dias na máquina de envelhecimento acelerado e das peças que não foram expostas a degradação acelerada (p-valor = 0,453). Analisando a Figura 17 podemos verificar que os valores

observados padronizados da amostra estão bem próximos da reta de valores normais esperados, comprovando a normalidade dos dados.

Figura 17 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 66 dias na máquina *versus* branco



Fonte: O Autor, 2015.

Analisando descritivamente os dados é possível observar (Tabela 8) que a resistência média das peças que foram submetidas a degradação acelerada por 66 dias (Máquina) é um pouco menor que a média de resistência das peças que ficaram fora da máquina durante 66 dias (Branco).

Tabela 8 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 2 (66 dias).

Tratamento	Número de peças	Média	Desvio padrão	Variância
Branco	6	1,2483	0,2885	0,0833
Máquina	14	1,2143	0,2983	0,0890

Fonte: O Autor, 2015.

Através do teste t de *Student* será verificado se a resistência média das peças cerâmicas submetidas a degradação acelerada durante 66 dias é significativamente diferente da resistência média das peças cerâmicas que não foram para a máquina de envelhecimento acelerado, podendo o teste de hipótese ser escrito da seguinte maneira:

$$\begin{cases} H_0: \mu_2 = \mu_{b2} \\ H_1: \mu_2 \neq \mu_{b2} \end{cases}$$

onde,

μ_2 : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 2 (66 dias) que foram submetidas a degradação acelerada;

μ_{b2} : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 2 (branco) que não foram submetidas a degradação acelerada;

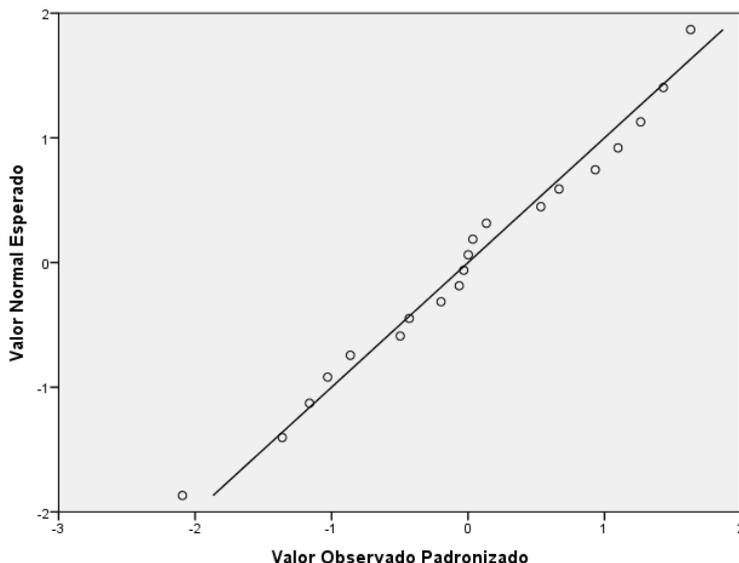
Antes da utilização do teste t de *Student* é necessário testar se as variâncias dos dois grupos são iguais ou diferentes, para isto foi aplicado o teste de Levene, onde se pode concluir que as variâncias são iguais (p-valor = 0,807) nos dois grupos testados (ciclo 2 e branco).

Assim o teste t de *Student* assumindo variâncias semelhantes foi aplicado, identificando que não existe evidência estatística suficiente para afirmar que a resistência média das peças expostas a degradação acelerada é diferente da resistência média das peças não expostas a degradação (p-valor = 0,816).

5.1.2.3 Análise estatística ciclo 3 (99 dias) *versus* branco

O teste de *Kolmogorov-Smirnov* não rejeitou a hipótese de normalidade dos dados de resistência de aderência à tração das peças cerâmicas que ficaram 99 dias na máquina de envelhecimento acelerado e das peças que não foram expostas a degradação acelerada (p-valor = 0,431). Analisando a Figura 18 podemos verificar que os valores observados padronizados da amostra estão bem próximos da reta de valores normais esperados, comprovando a normalidade dos dados.

Figura 18 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 99 dias na máquina *versus* branco



Fonte: O Autor, 2015.

Analisando descritivamente os dados é possível observar (Tabela 9) que a resistência média das peças que foram submetidas a degradação acelerada por 99 dias (Máquina) é maior que a média de resistência das peças que ficaram fora da máquina durante 99 dias (Branco).

Tabela 9 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 3 (99 dias).

Tratamento	Número de peças	Média	Desvio padrão	Variância
Branco	6	1,4083	0,3363	0,1131
Máquina	14	1,5671	0,2838	0,0806

Fonte: O Autor, 2015.

Através do teste t de *Student* será verificado se a resistência média das peças cerâmicas submetidas a degradação acelerada durante 99 dias é significativamente diferente da resistência média das peças

cerâmicas que não foram para a máquina de envelhecimento acelerado, podendo o teste de hipótese ser escrito da seguinte maneira:

$$\begin{cases} H_0: \mu_3 = \mu_{b3} \\ H_1: \mu_3 \neq \mu_{b3} \end{cases}$$

onde,

μ_3 : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 3 (99 dias) que foram submetidas a degradação acelerada;

μ_{b3} : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 3 (branco) que não foram submetidas a degradação acelerada;

Antes da utilização do teste t de *Student* é necessário testar se as variâncias dos dois grupos são iguais ou diferentes, para isto foi aplicado o teste de Levene, onde se pode concluir que as variâncias são iguais (p-valor = 0,707) nos dois grupos testados (ciclo 3 e branco).

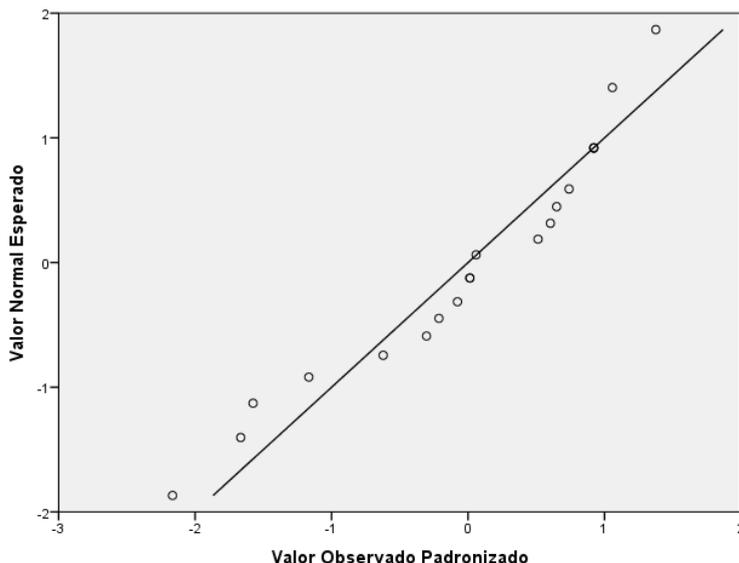
Assim o teste t de *Student* assumindo variâncias iguais foi aplicado, identificando que não existe evidência estatística suficiente para afirmar que a resistência média das peças expostas a degradação acelerada é diferente da resistência média das peças não expostas a degradação (p-valor = 0,291).

5.1.2.4 Análise estatística ciclo 4 (132 dias) versus branco

O teste de *Kolmogorov-Smirnov* não rejeitou a hipótese de normalidade dos dados de resistência de aderência à tração das peças cerâmicas que ficaram 132 dias na máquina de envelhecimento acelerado e das peças que não foram expostas a degradação acelerada (p-valor = 0,653).

Analisando a Figura 19 podemos verificar que os valores observados padronizados da amostra estão bem próximos da reta de valores normais esperados, comprovando a normalidade dos dados.

Figura 19 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 132 dias na máquina *versus* branco



Fonte: O Autor, 2015.

Analisando descritivamente os dados é possível observar (Tabela 10) que a resistência média das peças que foram submetidas a degradação acelerada por 132 dias (Máquina) é um pouco menor que a média de resistência das peças que ficaram fora da máquina durante 132 dias (Branco).

Tabela 10 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 4 (132 dias).

Tratamento	Número de peças	Média	Desvio padrão	Variância
Branco	6	1,2250	0,2894	0,0838
Máquina	14	1,1993	0,1962	0,0385

Fonte: O Autor, 2015.

Através do teste t de *Student* será verificado se a resistência média das peças cerâmicas submetidas a degradação acelerada durante 132 dias é significativamente diferente da resistência média das peças

cerâmicas que não foram para a máquina de envelhecimento acelerado, podendo o teste de hipótese ser escrito da seguinte maneira:

$$\begin{cases} H_0: \mu_4 = \mu_{b4} \\ H_1: \mu_4 \neq \mu_{b4} \end{cases}$$

onde,

μ_4 : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 4 (132 dias) que foram submetidas a degradação acelerada;

μ_{b4} : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 4 (branco) que não foram submetidas a degradação acelerada;

Antes da utilização do teste t de *Student* é necessário testar se as variâncias dos dois grupos são iguais ou diferentes, para isto foi aplicado o teste de Levene, onde se pode concluir que as variâncias são iguais (p-valor = 0,309) nos dois grupos testados (ciclo 4 e branco).

Assim o teste t de *Student* assumindo variâncias iguais foi aplicado, identificando que não existe evidência estatística suficiente para afirmar que a resistência média das peças expostas a degradação acelerada é diferente da resistência média das peças não expostas a degradação (p-valor = 0,818).

5.1.2.5 Análise estatística ciclo 5 (165 dias) versus branco

O teste de *Kolmogorov-Smirnov* não rejeitou a hipótese de normalidade dos dados de resistência de aderência à tração das peças cerâmicas que ficaram 165 dias na máquina de envelhecimento acelerado e das peças que não foram expostas a degradação acelerada (p-valor = 0,672).

Analisando a Figura 20 podemos verificar que os valores observados padronizados da amostra estão bem próximos da reta de valores normais esperados, comprovando a normalidade dos dados.

Tabela 11 - Estatísticas descritivas da resistência de aderência (em MPa), dados do ciclo 5 (165 dias).

Tratamento	Número de peças	Média	Desvio padrão	Variância
Branco	6	1,3606	0,2505	0,0628
Máquina	14	1,3168	0,1531	0,0234

Fonte: O Autor, 2015.

Analisando descritivamente os dados é possível observar (Tabela 11) que a resistência média das peças que foram submetidas a degradação acelerada por 165 dias (Máquina) é menor que a média de resistência das peças que ficaram fora da máquina durante 165 dias (Branco).

Através do teste t de *Student* será verificado se a resistência média das peças cerâmicas submetidas a degradação acelerada durante 165 dias é significativamente diferente da resistência média das peças cerâmicas que não foram para a máquina de envelhecimento acelerado, podendo o teste de hipótese ser escrito da seguinte maneira:

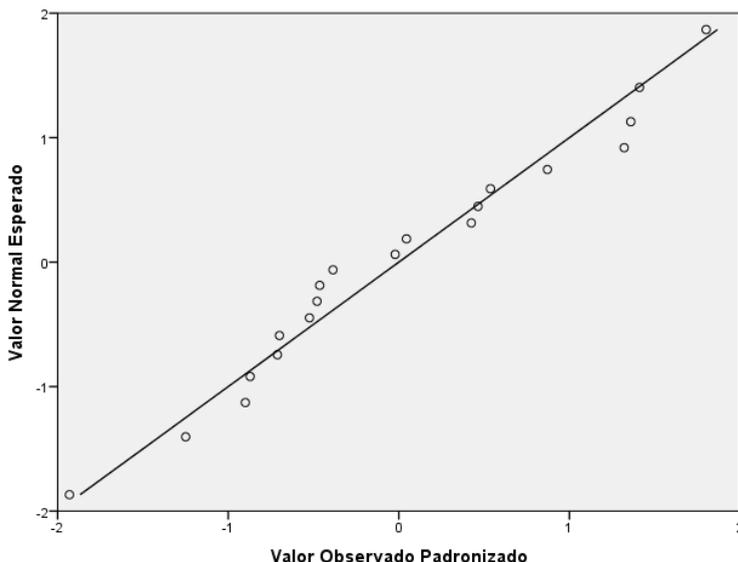
$$\begin{cases} H_0: \mu_5 = \mu_{b5} \\ H_1: \mu_5 \neq \mu_{b5} \end{cases}$$

onde,

μ_5 : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 5 (165 dias) que foram submetidas a degradação acelerada;

μ_{b5} : Resistência média das peças cerâmicas do ciclo 5 (branco) que não foram submetidas a degradação acelerada;

Figura 20 - Gráfico Q-Q Plot para normalidade da Resistência (MPa) – 165 dias na máquina *versus* branco



Fonte: O Autor, 2015.

Antes da utilização do teste t de *Student* é necessário testar se as variâncias dos dois grupos são iguais ou diferentes, para isto foi aplicado o teste de Levene, onde se pode concluir que as variâncias são iguais (p-valor = 0,195) nos dois grupos testados (ciclo 5 e branco).

Assim o teste t de *Student* assumindo variâncias iguais foi aplicado, identificando que não existe evidência estatística suficiente para afirmar que a resistência média das peças expostas a degradação acelerada é diferente da resistência média das peças não expostas a degradação (p-valor = 0,634).

5.1.3 Análise estatística para formas de ruptura

Durante o teste de arrancamento das peças cerâmicas do substrato, foram observados os tipos de rupturas que cada peça apresentou e as distribuições das frequências de cada tipo de ruptura estão na Tabela 12, onde a grande maioria das peças cerâmicas apresentou ruptura apenas na argamassa colante (84,26%).

Tabela 12 - Tipos de rupturas apresentados pelas peças cerâmicas.

Tipos de rupturas	Frequência	%
Ruptura na interface argamassa e substrato	8	7,41
Ruptura da argamassa colante	91	84,26
Interface placa cerâmica e argamassa colante	4	3,70
Ruptura na interface cola / pastilha	5	4,63
Total	108	100,00

Fonte: O Autor, 2015.

O teste Qui-Quadrado de associação foi utilizado para analisar se o fato das peças cerâmicas terem sido expostas ou não ao processo de degradação acelerado, teve ou não influência no tipo de ruptura encontrado durante o teste de arrancamento.

Segundo o resultado do teste Qui-Quadrado, existe associação significativa entre as peças que foram expostas ao processo de envelhecimento acelerado e as que não foram expostas, com os tipos de rupturas apresentados em ambas as peças (p-valor = 0,000).

A grande maioria das peças que ficaram dentro da máquina de envelhecimento acelerado apresentou ruptura na argamassa colante,

enquanto as peças que não foram para dentro da máquina (Branco) apresentaram ruptura na interface argamassa e substrato e ruptura na interface placa cerâmica e argamassa colante acima do esperado, caso as duas variáveis não possuísem associação.

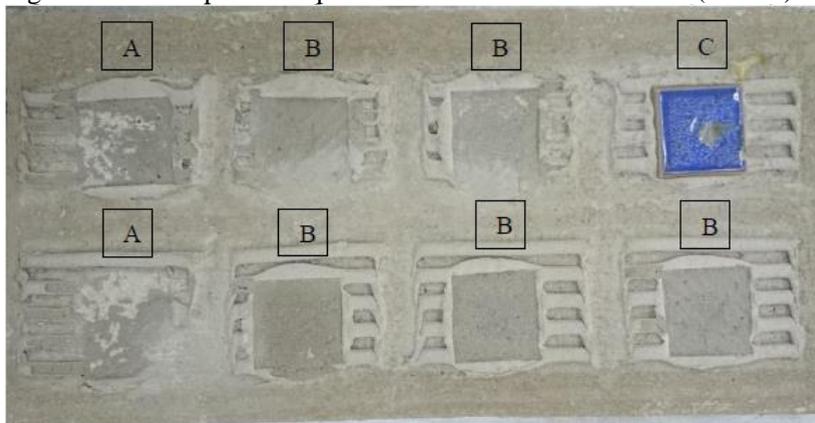
Tabela 13 - Frequências observadas e resíduos ajustados do teste Qui-Quadrado.

Tipos de rupturas	Estatísticas descritivas	Branco	Máquina	Total
Ruptura na interface argamassa e substrato	Frequência	7	1	8
	Resíduos ajustados	3,2201	-3,2201	
Ruptura da argamassa colante	Frequência	26	65	91
	Resíduos ajustados	-3,3300	3,3300	
Interface placa cerâmica e argamassa colante	Frequência	4	0	4
	Resíduos ajustados	2,7662	-2,7662	
Ruptura na interface cola e pastilha	Frequência	1	4	5
	Resíduos ajustados	-0,7281	0,7281	
Total		38	70	108

Fonte: O Autor, 2015.

A Figura 21 apresenta 8 exemplos de rupturas encontradas nas amostras de um substrato padrão após o teste de arrancamento, onde pode se observar a presença de 2 rupturas da argamassa com o substrato (A), 5 rupturas apenas da argamassa colante (B) e 1 ruptura na interface cola e pastilha (C), onde a peça cerâmica acabou ficando colada no substrato padrão.

Figura 21 - Exemplos de rupturas encontradas nas amostras (branco)



Fonte: O Autor, 2015.

5.2 ANÁLISE DAS FASES POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X

As análises dos difratogramas de todas as amostras testadas indicam a presença de duas fases: Quartzo e Silicato de Cálcio Hidratado. No Quadro 4 são apresentados os dados referentes às fases presentes na argamassa em cada ciclo térmico.

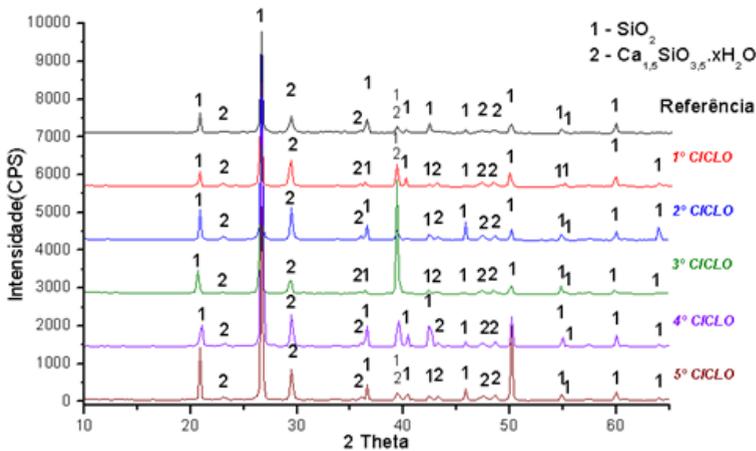
Quadro 4 - Fases presentes na análise DRX.

Amostra	Fases Presentes	Fórmula	Número do Cartão JCPDS
Referencia	Óxido de Silício (Quartzo)	SiO_2	46-1045
	Silicato de Cálcio Hidratado	$\text{Ca}_{1,5}\text{SiO}_{3,5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$	33-0306
Primeiro Ciclo	Óxido de Silício (Quartzo)	SiO_2	46-1045
	Silicato de Cálcio Hidratado	$\text{Ca}_{1,5}\text{SiO}_{3,5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$	33-0306
Segundo Ciclo	Óxido de Silício (Quartzo)	SiO_2	46-1045
	Silicato de Cálcio Hidratado	$\text{Ca}_{1,5}\text{SiO}_{3,5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$	33-0306
Terceiro Ciclo	Óxido de Silício (Quartzo)	SiO_2	46-1045
	Silicato de Cálcio Hidratado	$\text{Ca}_{1,5}\text{SiO}_{3,5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$	33-0306
Quarto Ciclo	Óxido de Silício (Quartzo)	SiO_2	46-1045
	Silicato de Cálcio Hidratado	$\text{Ca}_{1,5}\text{SiO}_{3,5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$	33-0306
Quinto Ciclo	Óxido de Silício (Quartzo)	SiO_2	46-1045
	Silicato de Cálcio Hidratado	$\text{Ca}_{1,5}\text{SiO}_{3,5} \cdot x\text{H}_2\text{O}$	33-0306

Fonte: O Autor, 2015.

A difração de raios X, DRX, não evidenciou diferenças entre as fases presentes na referência e as apresentadas nos diversos ciclos. Esse comportamento está dentro da normalidade, pois a influência da variação térmica não foi muito expressiva. Contudo esperava-se uma evolução (aumento) de fases hidratadas de cálcio, o que aparentemente não ocorreu a um nível que pudesse ser detectado pela análise de difração de raios X, DRX.

Figura 22 - Difratoograma de Raios X, DRX, da argamassa de assentamento exposta a ciclos térmicos em diversos tempos.



Fonte: O Autor, 2015.

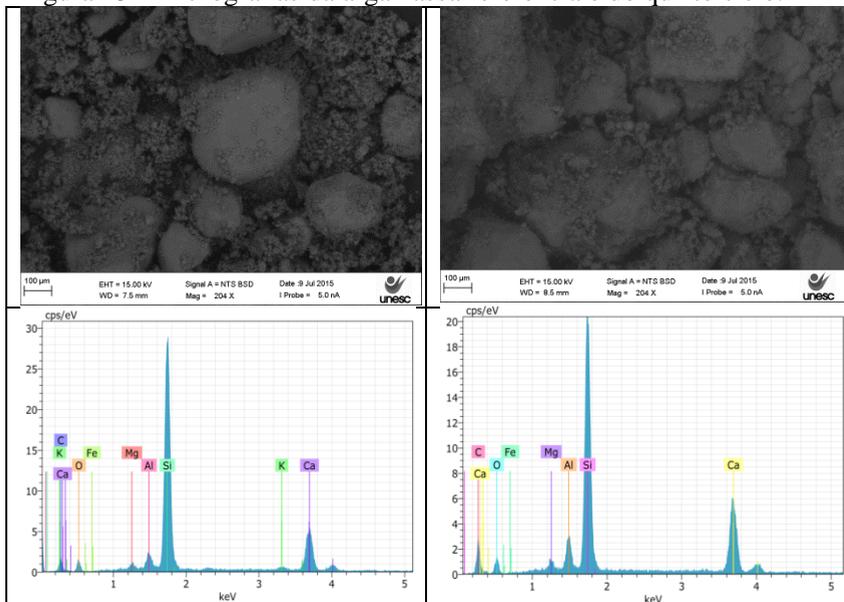
5.3 ANÁLISE POR MICROSPICIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Na Figura 23 são apresentadas as micrografias da argamassa referência e do quinto ciclo. Escolheram-se essas duas, pois se houvessem diferenças ficariam mais evidentes com a argamassa sem exposição e aquela com o máximo de exposição aos ciclos térmicos.

Porém, pode ser observado que não ocorre uma diferenciação visual perceptível nas características gerais da imagem. Quanto as análises químicas realizadas por microsonda e apresentadas na correspondente coluna, algumas diferenças são observadas.

Entretanto, essa é uma análise qualitativa pois a quantificação utilizando microsonda não é precisa.

Figura 23 - Micrografias da argamassa referência e do quinto ciclo.



Fonte: O Autor, 2015.

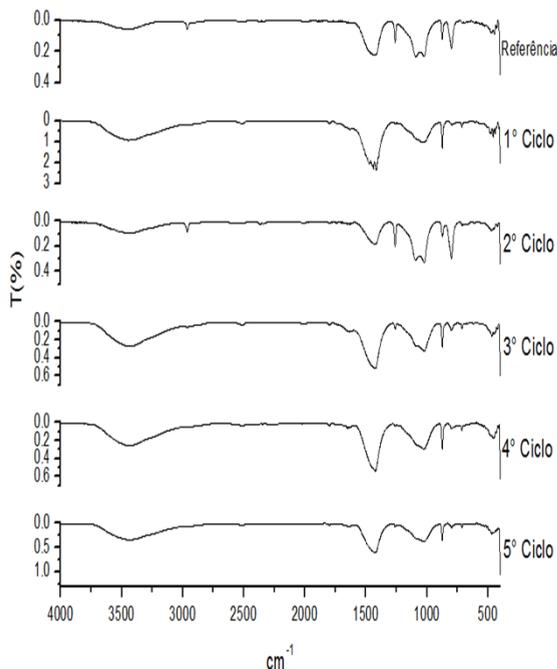
As maiores diferenças observadas estão nos elementos presentes em menor quantidade. Contudo as duas apontam que o carbono não está presente. A presença de carbono era esperada, pois as argamassas desse tipo (ACIII) contêm teores de ligantes (polímeros com carbono).

5.4 ANÁLISE UTILIZANDO INFRAVERMELHO COM TRANSFORMADA DE FOURIER

A análise utilizando FTIR consegue diferenciar as amostras indicando que algumas das ligações observadas estão mudando com o tempo.

No comportamento geral se observam três grupos que apresentam os picos em posição, forma e intensidades semelhantes. No primeiro grupo poderia ser correlacionada a amostra do branco (sem exposição) com o segundo ciclo (exposição de 66 dias). Sozinho no segundo grupo a amostra do primeiro ciclo (exposição de 33 dias) e finalmente poderiam ser agrupadas as amostras correspondentes ao tempo de 99, 132, 166 dias.

Figura 24 – Espectroscopia de infravermelho da argamassa de assentamento exposta a ciclos térmicos em diversos tempos.



Fonte: O Autor, 2015.

No Quadro 5 se apresentam os principais picos bem como a interpretação dos mesmos considerando o encontrado na literatura consultada. Pode-se verificar que estão presentes em todas as amostras os picos correspondentes a água de hidratação das fases de carbonato de cálcio hidratado (em torno de 3443 cm^{-1}). O pico é bastante largo o traz uma variação no posicionamento do mesmo.

Observam-se ainda, picos identificados como ligações do CH_3 , (em torno de 2963 cm^{-1}), embora a microsonda não tenha detectado a presença de carbono. As ligações correspondentes aos materiais carbonáticos e do quartzo também estão presentes em todas as amostras (em torno de 2514 e 799 cm^{-1} respectivamente).

Por volta de 1260 cm^{-1} se observa um pico que corresponde a ligação Si-CH_3 .

Quadro 5 - Interpretação dos picos do Espectrograma de FTIR das amostras de argamassa expostas a ciclos térmicos por diversos tempos.

Amostras	Picos	Interpretação	OBS
Referência	3451,68	C-S-H	Taylor, 2003; MAREL et al, 1976; MOLLAH et. al, 2000; MANSUR, 2007; SILVA et al, 2012;
	2962,71	CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	2514,25	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1797,69	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1423,49	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	1260,50	Si – CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	874,73	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	799,51	Quartzo	Biscotin, 2002
	710,78	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
Primeiro Ciclo	3444,92	C-S-H	Taylor, 2003; MAREL et al, 1976; MOLLAH et. al, 2000; MANSUR, 2007; SILVA et al, 2012;
	2963,68	CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	2514,25	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1796,72	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1260,50	Si – CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	874,73	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	795,65	Quartzo	Biscotin, 2002
	712,71	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
Segundo Ciclo	3434,32	C-S-H	Taylor, 2003; MAREL et al, 1976; MOLLAH et. al, 2000; MANSUR, 2007; SILVA et al, 2012;
	2963,68	CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	2514,25	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007

	1798,65	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1423,49	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	1261,47	Si – CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	873,77	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	799,51	Quartzo	Biscotin, 2002
	707,89	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
Terceiro Ciclo	3443,00	C-S-H	Taylor, 2003; MAREL et al, 1976; MOLLAH et. al, 2000; MANSUR, 2007; SILVA et al, 2012;
	2962,71	CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	2514,25	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1797,69	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1423,49	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	1260,50	Si – CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	874,73	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	798,54	Quartzo	Biscotin – 2002
	712,71	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
Quarto Ciclo	3437,21	C-S-H	Taylor, 2003; MAREL et al, 1976; MOLLAH et. al, 2000; MANSUR, 2007; SILVA et al, 2012;
	2978,14	CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	2514,25	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1797,69	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1423,49	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	1260,50	Si – CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	874,73	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
		796,61	Quartzo

	712,71	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
Quinto Ciclo A	3443,96	C-S-H	Taylor, 2003; MAREL et al, 1976; MOLLAH et. al, 2000; MANSUR, 2007; SILVA et al, 2012;
	2962,71	CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	2515,22	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1797,69	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1428,31	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	1261,47	Si – CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	874,73	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	798,54	Quartzo	Biscotin – 2002
	712,71	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
Quinto Ciclo B	3442,03	C-S-H	Taylor, 2003; MAREL et al, 1976; MOLLAH et. al, 2000; MANSUR, 2007; SILVA et al, 2012;
	2962,71	CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	2514,25	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1796,72	Materiais Carbonáticos	Mansur, 2007
	1423,49	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	1260,50	Si – CH ₃	Johnson, 2013, Kebukawa, 2008
	874,73	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007
	797,58	Quartzo	Biscotin, 2002
	712,71	Materiais Carbonáticos	Soares, 2014; Fernández-Jiménez et al, 2003; Mansur, 2007

Fonte: O Autor, 2015.

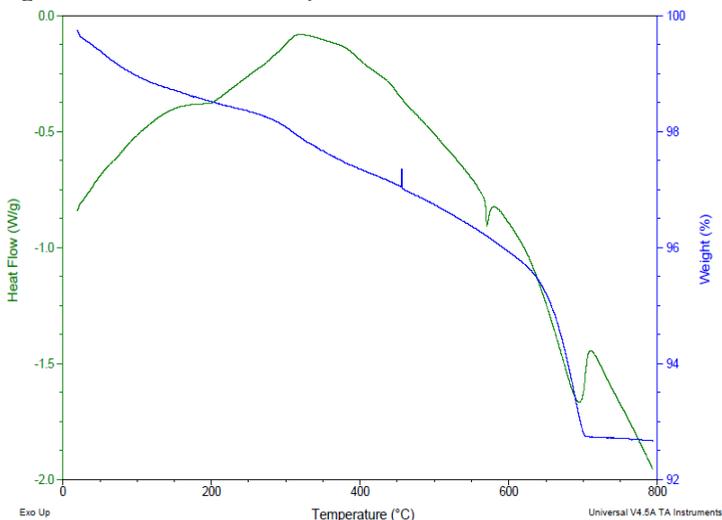
5.5 ANÁLISE TÉRMICA

Quando se analisa o comportamento térmico do material de referência pode-se destacar que: até 220°C houve perda de massa

referente a água absorvida pela argamassa. Em torno de 320°C até aproximadamente 450°C ocorre a quebra de compostos hidratados, liberando a água de constituição. Em torno de 570°C ocorre um pico endotérmico referente a transformação do Quartzo α em Quartzo beta. Ao redor 650°C ocorre a decomposição dos compostos de Cálcio (C-S-H) que perdura até aproximadamente 700°C.

Com relação do material exposto a três ciclos de degradação acelerado (Terceiro ciclo), em até aproximadamente 200°C ocorreu a perda de aproximadamente 2% em massa, decorrente da água absorvida pela argamassa. A degradação dos compostos hidratados é menos perceptível quando comparado com o material de referência. Novamente em 573°C ocorreu um pico endotérmico, indicando a mudança da estrutura cristalina do Quartzo. Em aproximadamente 650°C iniciou a decomposição dos compostos de Cálcio. O total de perda de massa é de 8,2%.

Figura 25 - DSC/TGA das placas de referência.

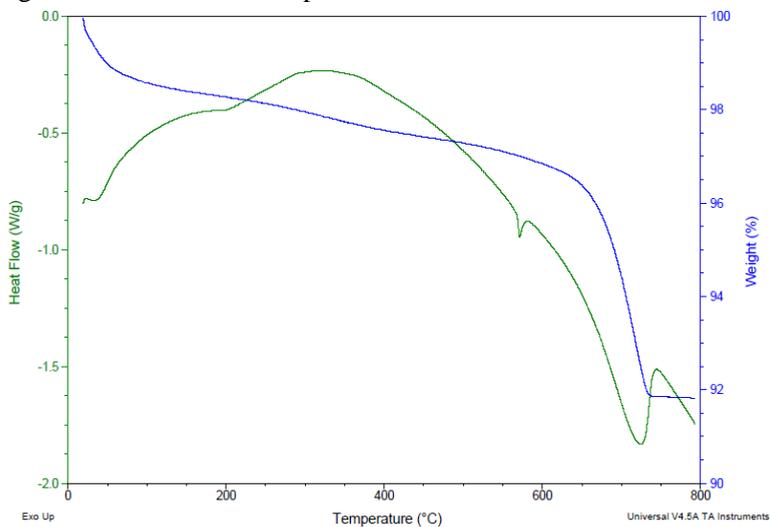


Fonte: O Autor, 2015.

O material exposto à cinco ciclos de degradação acelerado (Quinto ciclo) apresentou comportamento idêntico ao material do terceiro ciclo, indicando estarem presentes os mesmos eventos térmicos e a mesma perda de massa total.

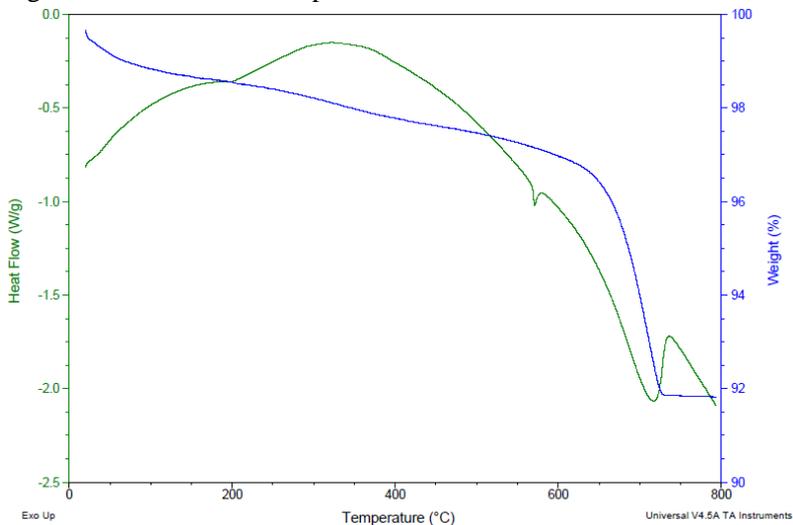
Esse comportamento indica que não ocorreu uma degradação nas propriedades do material da argamassa, mesmo nos componentes orgânicos (ligantes) presentes. Essa constatação nos levou a considerar a possibilidade de estudos complementares do comportamento térmico dos conjuntos.

Figura 26 - DSC/TGA das placas do 3º ciclo.



Fonte: O Autor, 2015.

Figura 27 - DSC/TGA das placas do 5º ciclo.



Fonte: O Autor, 2015.

5.6 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DO REVESTIMENTO CERÂMICO DE FACHADA

O estranho comportamento obtido nos testes de resistência ao arrancamento indicou que os ciclos térmicos estavam influenciando de forma muito sutil na argamassa. O modelo estatístico adotado apontou influência de apenas 29%.

Assim realizou-se de forma complementar o estudo do comportamento térmico utilizando as equações clássicas de transferência de calor para sólidos na condição semi-infinita, considerando-se o fluxo em uma direção x , sem fonte interna e em regime transitório. A equação diferencial que rege essa geometria, após as devidas simplificações é representada pela Equação 2 (ÇENGEL e GHAJAR, 2015):

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad (2)$$

Cuja solução pode ser explicitada pela Equação 3 (ÇENGEL e GHAJAR, 2015):

$$\frac{T_{tx} - T_0}{T_s - T_0} = \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}\right) \quad (3)$$

Onde:

$\operatorname{erf}(z)$ = Função erro de Gauss, sendo $z = \frac{x}{2\sqrt{\alpha t}}$;

α = difusividade térmica (em m/s);

T_{tx} = Temperatura em tempo e distância qualquer a partir da superfície;

T_0 = Temperatura inicial;

T_s = Temperatura da Superfície ou Temperatura Súbita;

Sabe-se ainda que a fórmula de difusividade térmica é expressada pela Equação 4 (ÇENGEL e GHAJAR, 2015):

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (4)$$

Onde:

k = Coeficiente de Condutividade térmica (em W/mk);

C_p = Calor específico (em J/kgK);

ρ = Densidade (em Kg/m³);

Os dados para materiais de construção (Placas de revestimento cerâmico), segundo (ÇENGEL e GHAJAR, 2015) são:

$\rho = 1920 \text{ kg/m}^3$;

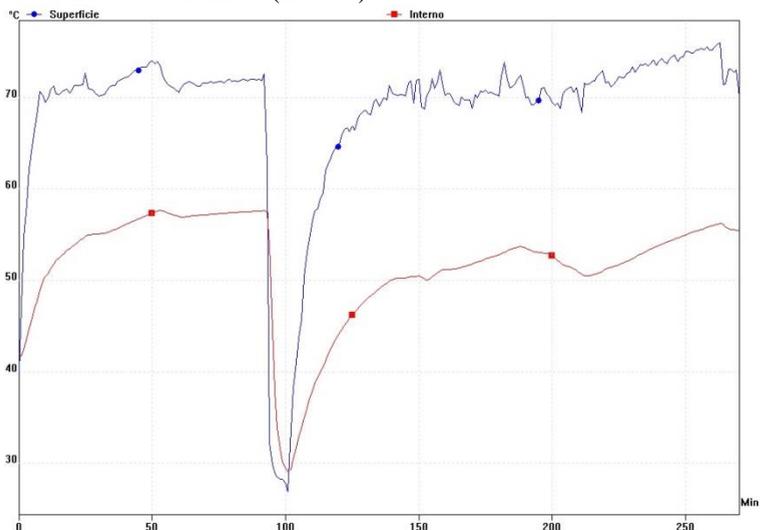
$C_p = 790 \text{ J/kgK}$

$k = 0,90 \text{ W/Mk}$

Para se qualificar os cálculos efetuados realizaram-se testes de laboratório onde, com o auxílio de termopares, pode-se concluir que a temperatura após uma hora foi de aproximadamente 50°C.

Aplicando as condições de contorno do problema, onde se verificou que a temperatura máxima na superfície foi de 70°C, a temperatura inicial foi de 30°C e que a espessura do revestimento cerâmico é de 8mm, a temperatura medida para o tempo de 50 minutos no ciclo de aquecimento e a 8mm de profundidade (interface da cerâmica com a argamassa) foi de 50,48°C.

Figura 28 - Variação de temperatura dentro da máquina de envelhecimento acelerado (superfície) e na interface argamassa *versus* revestimento cerâmico (interno).



Fonte: O Autor, 2015.

Por outro lado, observando a Figura 28 percebe-se que a temperatura da interface placa cerâmica *versus* argamassa entra em equilíbrio perpetuando-se com valor próximo a 56°C. Esse fato distorce o cálculo quando se deseja simular qual o tempo necessário para que a interface chegue a temperatura de 60°C, dentro da máquina de envelhecimento acelerado.

A conclusão é que o ciclo térmico ao que as peças foram expostas, apesar de representar fielmente as condições regionais de temperaturas mensuradas nas fachadas, não teve tempo suficiente para alterar a temperatura na interface do revestimento cerâmico *versus* argamassa, de tal forma que essas variações térmicas viessem a degradar o material polimérico presente na argamassa e em parte responsável pela ancoragem e resistência ao arrancamento das placas cerâmicas.

6 CONCLUSÃO

O resultado da ANOVA apresentou evidências estatísticas (p -valor = 0,000) de que o tempo de exposição das peças cerâmicas ao processo de degradação acelerada influenciou nos valores de resistência de aderência a tração. As placas cerâmicas que ficaram dentro da máquina de envelhecimento acelerado por 99 dias, apresentaram resistência média maior, comparado a resistência média medida nas placas que ficaram 66 (p -valor = 0,001), 132 (p -valor = 0,001) e 165 (p -valor = 0,039) dias expostas ao processo de envelhecimento acelerado.

Pelo modelo ajustado da ANOVA, apenas 29,84% da variação média das resistências de aderência a tração das placas cerâmicas, expostas ao envelhecimento acelerado é explicada pela variação térmica e de umidade em que as placas ficaram expostas dentro da máquina de envelhecimento acelerado.

A análise de difração de raios X também evidenciou a baixa influência da variação térmica na resistência de aderência a tração, não encontrando diferentes fases entre as peças referências e as expostas ao processo de degradação acelerado.

Quando comparado às médias de resistências de aderência a tração das peças cerâmicas expostas ao processo de envelhecimento acelerado (Máquina), com as peças que não foram submetidas a variação de temperatura e umidade (Branco), não houve evidência estatística suficiente para comprovar diferença entre as médias observadas.

Esse comportamento induz ao pensamento de que outros fatores além dos ciclos térmicos contribuem para a variação da resistência ao descolamento das peças cerâmicas e que não foram detectadas no período testado, corroborando com o coeficiente de determinação ($R^2 = 0,2984$) encontrado na ANOVA e os resultados da difração de raios X - DRX.

Por outro lado, o fato das resistências médias das peças cerâmicas expostas a degradação acelerada não serem significativamente diferentes das resistências médias das peças que não foram expostas a degradação, reforça a recomendação da ABNT NBR 14081-1 (ABNT, 2012), de que a argamassa ACIII é a mais recomendada para aplicação em ambientes externos, pois suportou bem as variações de temperatura e umidade ao longo do tempo.

O estudo mostrou que o desempenho do revestimento cerâmico de fachada está fortemente ligado aos parâmetros de seleção dos

materiais utilizados, principalmente na seleção da argamassa correta para assentamento das placas cerâmicas em revestimentos externos de fachada.

Através da análise do comportamento térmico do revestimento cerâmico de fachada foi possível verificar que, os ciclos de aquecimento de 50 minutos, a uma temperatura de 70°C, não foram suficientes para alterar a temperatura na interface do revestimento cerâmico *versus* argamassa aos 70°C, prejudicando o processo de degradação acelerado.

Vale destacar que o desempenho da fachada esta vinculado também à correta preparação da base, da preparação e aplicação da argamassa e das técnicas de assentamento da placa cerâmica, conforme preconiza as Normas técnicas da ABNT, sendo que as falhas nestas operações põem em risco o alcance das propriedades previstas dos materiais utilizados e conseqüentemente, a durabilidade do sistema de revestimento externo de fachadas.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se trabalhar com peças cerâmicas de outros grupos de absorção de água, para a comparação da resistência de aderência a tração de revestimentos cerâmicos compostos por estas peças.

Com base nos resultados do comportamento térmico do revestimento cerâmico de fachada, recomenda-se trabalhar com ciclos de aquecimento de aproximadamente 12h e ciclos de resfriamento de aproximadamente 1h, se trabalhado com esta temperatura de 70°C

Ou então, adotar uma maior temperatura na superfície, na faixa de 80°C a 90°C, diminuindo o tempo dos ciclos.

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.

ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília – sistematização da incidência de casos.** Dissertação de mestrado (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília – DF, 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 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 13816 – **Placas cerâmicas para revestimento** - Terminologia. Rio de Janeiro, 1997.

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

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.

ANTUNES, G. R. **Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília – sistematização da incidência de casos.** Dissertação de mestrado (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Brasília – DF, 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 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 13816 – **Placas cerâmicas para revestimento** - Terminologia. 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 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 15575 – 1. **Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES (ANFACER). **Brasil – O Mercado Brasileiro**. Disponível em <http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=159&n=Brasil#!brasil/ce0c>. Acesso em 07 de janeiro de 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES (ANFACER). **Setor – Perfil da produção, 2015**. Disponível em <http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=162&n=Produ%C3%A7%C3%A3o#!produo/c137p>. Acesso em 07 de janeiro de 2015.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE CERÂMICA PARA REVESTIMENTOS, LOUÇAS SANITÁRIAS E CONGÊNERES (ANFACER). **Mercado Mundial**. Disponível em <http://www.anfacer.org.br/?idConteudo=2526&n=World-Ceramic-Tiles-Forum-Promove-o-Desenvolvimento-Global-do-Setor-Cer%C3%A2mico#!mundial/c150q>. Acesso em 07 de janeiro de 2015.

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

AMARAL, L. S. **Arquitetura e arte decorativa do azulejo no Brasil**. 2013. Disponível em http://www.belasartes.br/revistabelasartes/downloads/artigos/2/arq_e_a_rte_decorativa_do_azulejo_no_brasil.pdf>. Acesso em 10 de fevereiro de 2015.

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 fevereiro de 2015.

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

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

BISCONTIN, Guido; BIRELLI, Marta Pellizon; ZENDRI, Elisabetta. **Characterization of binders employed in the manufacture of Venetian historical mortars**. *Journal of Cultural Heritage*. vol.3, 2002, p.31 – 37.

BUSSAB, W. O. **Análise de Variância e Regressão: Uma introdução**. São Paulo: Atual, 1988.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: Princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

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. 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.

ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A. J. **Heat and mass transfer fundamentals & applications**. New York, McGraw-Hill Education, 2015.

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.

FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A. et al. **Structure of Calcium Silicate Hydrates Formed in Alkaline-Activated Slag: Influence of the Type of Alkaline Activator**. Journal of the American Ceramic Society. Vol. 86, nº 8. 2003. Pag. 1389 – 1394.

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

GRANATO, J. E. **Patologia das construções**. 2002. Disponível em <<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadascstrucoes2002.pdf>> Acesso em 20 de fevereiro de 2015.

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.

HOFFMANN, Felipe Schlittler. **Estudo da influência de argilitos e feldspatóides em composição de porcelanato**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de São Carlos. Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais. São Carlos, 2011.

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. **Changes in microstructures and physical properties of polymermodified mortars during wet storage**. Cement and Concrete Research vol.36, 2006, p.79-90.

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.

JOHNSON, L. M. et al. **Elastomeric microparticles for acoustic mediated bioseparations**. Journal of Nanobiotechnology. 2013.

LEVIN, J. **Estatística aplicada a ciências humanas**. São Paulo: Harbra, 1985.

LEVINE, D. M.; BERENSON, M. L.; STEPHAN, D. F.; KREHBIEL, M. L. **Estatística: Teoria e Aplicações usando Microsoft Excel em Português**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

LEWIS, D. G. **Análise de Variância**. São Paulo: Harbra, 1995.

MANSUR, A. A. P. **Mecanismos Físico-Químicos de Aderência na Interface Argamassa Modificada com Polímeros/Cerâmica de Revestimento**. 2007. 357 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007

MANSUR, H.S.; MANSUR, A.A.P.; SANTOS D.B. **A microstructural approach to adherence mechanism of poly (vinyl alcohol) modified cement systems to ceramic tiles**. Cement and Concrete Research. vol.37, 2007, p.270 - 282.

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.

MAREL, H.; W. VAN DER e BEUTELSPACHER, H. **Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and their admixtures**. Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, Inc., 1976.

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: Laboratório de Estruturas, Faculdade 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**. Boletim Técnico: BT/PCC/246. São Paulo: EPUSP, 1999, 28p.

MOLLAH, M. Y. A., YU, W., SCHENNACH, R. E. e COCKE, D. L. **A Fourier transform infrared spectroscopy of the early hydration of Portland cement and the influence of sodium lignosulfonate**. Cem Concr Res, v. 30, p. 267-273, 2000.

MONTGOMERY, D. C. / RUNGER, G. C. / HUBELE, N. F. **Estatística Aplicada à Engenharia**. 2ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MORETTIN, P. A. & BUSSAB, W. de O. **Estatística Básica**. 5ª Ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

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.

PEARSON, E. S. **The probability integral of the range in samples of n observations from a normal population**. I. Foreword and tables. Biometrika, v.32, p.301-310, 1942. Apud ZAR, J. **Biostatistical analysis**. 4.ed. Upper Saddle River – NJ: Prentice-Hall. 1999.

PORTOBELLO. **Tabela de especificação de produtos**. Disponível em <http://www.portobello.com.br/templates/source/50/files/tabela_simplificada.pdf>. Acesso em 06 janeiro 2015.

ROSCOE, M. T. **Patologias em revestimento cerâmico de fachada.** Monografia de Curso de Especialização em Construção Civil (Escola de Engenharia) – Universidade Federal de Minas Gerais – MG, 2008.

SARAIVA, A. G.; Bauer, E.; Bezerra, L. M. **Análise das tensões entre argamassa colante e placas cerâmicas submetidas a esforços de natureza térmica.** Ambiente Construtivo. Revista on-line da ANTAC. 2001. Disponível em <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/3417/1832>> . Acesso em 21 de fevereiro de 2005.

SIEGEL, S. & CASTELLAN JR., N. J. **Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento.** Tradução de Sara Ianda Correa Carmona. 2^a ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2006.

SILVEIRA, M. C. **Histórico dos revestimentos cerâmicos.** Disponível em <http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arqtema/ceramica/principal7.htm>. Acesso em 11 fevereiro de 2015.

SILVA, B. J. et al. **Uso de técnicas estatísticas para modelar a resistência à flexão de corpos cerâmicos contendo resíduo de granito.** Revista Matéria, Campina Grande, v. 17, n. 1, p.919-930, 15 jan. 2012.

SILVA, S. C. B. da. **Estudo da degradação acelerada da argamassa em um sistema de revestimento cerâmico de fachadas.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma - SC. 2014.

SOARES, Andrea Luciane Monteiro. **Efeito da adição de nanosílica nas propriedades mecânicas e microestruturais de argamassa para construção.** Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville – SC. 2014.

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.

TAYLOR, H. F. W. **Cement Chemistry**. 2ed. London: Thomas Telford Publishing, 2003.

VIEIRA, E. R. **Propriedades adesivas de IPNS a base de poliuretana de óleo de mamona associada a diferentes poliacrilatos**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

WOJCIKIEWICZ, **Kárya Sayara Maia**. **Arte e cultura material na azulejaria brasileira**. Universidade Estadual de Santa Catarina. Centro de Artes. Departamento de Artes Plásticas. Florianópolis - SC, 2008.

ZAR, J. **Biostatistical analysis**. 4.ed. Upper Saddle River – NJ: Prentice-Hall. 1999.