

UFPA

PPGEC

Universidade Federal do Pará



Clementino José dos Santos Netto

**Análise quantitativa da degradação de
fachadas em revestimento cerâmico:
Estudo de caso em edifícios de Belém –
PA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor Alcebíades Negrão Macêdo

Belém – Pará – Brasil
2018

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



Clementino José dos Santos Netto

Análise quantitativa da degradação de fachadas em revestimento cerâmico: Estudo de caso em edifícios de Belém - PA

Dissertação de Mestrado

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre de Engenharia Civil na área de Estruturas e Construção Civil.

Orientador: Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo

Belém, Junho de 2018.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistemas de Biblioteca da UFPA**

Santos Netto, Clementino José dos, 1992-
Análise quantitativa da degradação de fachadas em revestimento cerâmico: estudo de caso em edifícios de Belém- PA/ Clementino José dos Santos Netto.- 2018.

Orientador: Alcebiades Negrão Macêdo

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2018.

1. Revestimento em cerâmica - Edifícios - Biodegradação
2. Fachadas (Arquitetura) - Edifícios - Belém (PA) 3.
Biodegradação - Edifícios - Avaliação de riscos I. Título

CDD 22.ed.691.4

Elaborado por Kelren Cecília dos Santos Lima da Mota CRB-2/ 1461

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Clementino José dos Santos Netto

TÍTULO: Análise quantitativa da degradação de fachadas em revestimento cerâmico: Estudo de caso em edifícios de Belém - PA.

GRAU: Mestre ANO: 2018

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa qualificação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Clementino José dos Santos Netto
Avenida Marquês de Herval, 729, Pedreira.
66085-311 Belém – PA – Brasil.



ANÁLISE QUANTITATIVA DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS EM REVESTIMENTO CERÂMICO

AUTOR:

CLEMENTINO JOSÉ DOS SANTOS NETTO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 15 / 06 / 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Alcebiades Negrão Macêdo
Orientador (UFPA)

Prof. Dr. Antônio Eduardo Bezerra Cabral
Membro Externo (UFC)

Prof. Dra. Isaura Nazaré Lobato Paes
Membro Externo (UFPA)

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

*Dedico este trabalho à minha família, que formam a base de tudo na minha vida:
Clementino, Rita, Diego, Rafael e Teté.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por sempre caminhar ao meu lado, me dando saúde e força para superar todos os obstáculos enfrentados.

Aos meus pais, Clementino e Rita, por me apoiarem incondicionalmente nessa jornada, sempre acreditando em mim.

Aos meus irmãos, Diego e Rafael, pelo carinho e força do dia a dia.

Ao Prof. Dr. Alcebiades Macêdo, por me aceitar como aluno de mestrado, por acreditar no meu potencial e pelo apoio no desenvolvimento da pesquisa.

À Prof. Dra. Isaura Paes, pela dedicação e disponibilidade no decorrer da pesquisa. Pela paciência em transmitir seus conhecimentos e acreditar até o fim no meu trabalho, não poupando esforços para me ajudar e contribuir para a minha dissertação.

Ao Prof. Dr. Marcelo Picanço, pelo conhecimento repassado durante a pós-graduação. Pelas excelentes aulas de materiais e ensinamentos em estágio-docência.

À Construtora Boulevard, em especial ao Kléber Argollo, pela enorme paciência e disponibilidade durante a coleta de informações nos prédios do estudo.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil-PPGEC/UFPA, com professores e amigos que contribuíram para o meu aprendizado.

E a todos que, indiretamente, contribuíram para esta pesquisa.

“Deus não escolhe os capacitados, capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo só depende de nossa vontade e perseverança.”

Albert Einstein

“Impossível é apenas uma grande palavra usada por homens pequenos que acham mais fácil viver no mundo que receberam do que explorar o poder que têm para mudá-lo. Impossível não é um fato. É uma opinião. Impossível não é uma declaração. É um desafio. Impossível é potencial. Impossível é temporário. Impossível não existe.”

Muhammad Ali

RESUMO

SANTOS NETTO, C. J. **Análise quantitativa da degradação de fachadas em revestimento cerâmico: Estudo de caso em edifícios de Belém - PA.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil. 2018.

Este estudo aborda o levantamento e a identificação de manifestações patológicas nas fachadas de cinco edifícios, com sistema de revestimento cerâmico (SRC), da Região Metropolitana de Belém/ PA, por meio do modelo de quantificação de danos adaptado de Silva (2014). A metodologia proposta consiste em uma sistematização do processo de inspeção, com identificação, mapeamento e quantificação das manifestações patológicas nas fachadas dos edifícios, aplicando o Fator de Danos (FD) como forma de avaliar o comportamento da degradação em função de fatores de influência como o tipo de manifestação, idade e orientação solar das fachadas, analisando também agentes de degradação como a chuva dirigida, radiação solar e umidade. Posteriormente, foi aplicado o Fator de Danos Combinado (FDC) que atribui índices de ponderação ao FD, relativos ao custo de reparação de cada anomalia observada. Analisando os resultados, verificou-se que a manifestação patológica manchas (MA) no revestimento cerâmico foi a que apresentou maior percentual de ocorrência, ou seja, maior área degradada, entre os tipos de anomalias observadas. Além disso, essa manifestação apresentou valores elevados de $FD_{Médio}$ em todas as orientações cardeais e valores expressivos desse índice de degradação, tanto nas fachadas com menos de 20 anos, quanto nas com mais de 20 anos. Esses resultados são diretamente influenciados pelo clima extremamente agressivo da região, que apresenta constantes chuvas e elevada umidade relativa do ar (atingindo até 95%), favorecendo a propagação dessa anomalia (manchamento) já nas primeiras idades da edificação, visto que, as fachadas mais jovens analisadas (10 e 16 anos) já possuíam índices de degradação consideráveis dessa manifestação patológica. A orientação que apresentou maior fator de degradação foi a direção Sul ($FD_{Total}=9,42\%$), influenciado diretamente pelo fenômeno da chuva dirigida, que apresenta seu maior Índice de Chuva Dirigida (ICD) na direção Norte, afetando as fachadas orientadas na direção Sul. Após a aplicação do FDC, a manifestação patológica descolamento/ deslocamento (DC) cerâmico passou a apresentar o maior índice de degradação ($FDC_{Médio}=39,22\%$), devido ao seu alto custo de restauração, quando comparado ao valor de reparo das outras anomalias avaliadas. Por meio dos histogramas de FD_{Total} e FDC_{Total} , observou-se uma curva exponencial característica que apresenta uma diminuição na frequência de ocorrência à medida que aumenta o valor do índice de degradação. Tal curva característica também foi observada em Silva (2014) e Souza (2016).

Palavras chaves: Fachada, Manifestações Patológicas, Revestimento cerâmico, Quantificação de danos, Fator de Danos, Fator de Danos Combinado, Índice de Degradação.

ABSTRACT

SANTOS NETTO, C. J. Quantitative analysis of façade degradation in ceramic tiling: Case study in buildings in Belém – PA. Masters Dissertation, Institute of Technology, Federal University of Pará, Belém, Pará, Brazil. 2018. (In Portuguese)

This study approaches the collect and identification of pathological manifestations in the façades of five buildings, with ceramic coating system (SRC), in the Metropolitan Region of Belém / PA, using Silva 's adapted damage quantification model (2014). The proposed methodology consists of a systematization of the inspection process, with identification, mapping and quantification of the pathological manifestations in the façades of the buildings, applying the Damage Factor (FD) as a way to evaluate the degradation behavior as a function of influence factors such as type of manifestation, age and solar orientation of the facades, also analyzing agents of degradation such as directed rain, solar radiation and humidity. Subsequently, the Combined Damage Factor (FDC) was applied, which assigns weighting indices to the FD, related to the repair cost of each observed anomaly. Analyzing the results, it was verified that the pathological manifestation stain (MA) on the ceramic coating was the one that presented the highest percentage of occurrence, that is, greater degraded area, among the types of anomalies observed. In addition, this manifestation presented high values of FDC in all cardinal orientations and expressive values of this index of degradation, both in façades under 20 years and in those with more than 20 years. These results are directly influenced by the extremely aggressive climate of the region, which presents constant rains and high humidity (up to 95%), favoring the propagation of this anomaly (staining) already in the first ages of the building, since the façades (10 and 16 years old) already had considerable degradation rates of this pathological manifestation. The orientation that presented the highest degradation factor was the South direction ($FD_{Total}=9.42\%$), influenced directly by the phenomenon of directed rainfall, which presents its highest Directed Rain Index (ICD) in the North direction, affecting the facades oriented in the South direction. After the application of FDC, the pathological manifestation of ceramic detachment / displacement (DC) presented the highest degradation index ($FDC_{Médio}=39.22\%$), due to its high restoration cost, when compared to the repair value of the other anomalies evaluated. By means of the histograms of FD_{Total} and FDC_{Total} , a characteristic exponential curve was observed that shows a decrease in the frequency of occurrence as the value of the degradation index increases. This characteristic curve was also observed in Silva (2014) and Souza (2016).

Key words: Façade, Ceramic tiling, Pathological Manifestations, Quantification of damages, Damage Factor, Combined Damage Factor, Degradation Index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.2 – Desempenho ao longo do tempo de um elemento ou sistema (NBR 15575-4, ABNT 2013).....	24
Figura 2.3 – Causas de anomalias em edifícios (adaptado de Chaves, 2009).	26
Figura 2.4 – Camadas constituintes do revestimento cerâmico aderido (Junginger e Medeiros, 2003).....	27
Figura 2.5 – Representação esquemática do sistema de revestimento cerâmico. (1) representa o substrato; (2) e a argamassa de preparo do substrato, usualmente denominada chapisco; (3) corresponde à argamassa de regularização, denominada emboco; (4) e a argamassa colante industrializada de fixação das placas cerâmicas e (5) corresponde ao conjunto formado pelas peças cerâmicas e a argamassa de preenchimento das juntas de assentamento (MANSUR, 2007).....	28
Figura 2.6 – Tipos de juntas (Antunes, 2010).	32
Figura 2.7 – Mapa brasileiro de temperatura média compensada anual – período 2017 (INMET, 2017).....	35
Figura 2.8 – Mapa brasileiro de umidade relativa média mensal – dezembro/2017 (INMET, 2017).....	38
Figura 2.14 – Descolamento de placas cerâmicas (Silva, 2014).	40
Figura 2.15 – Desplacamento do revestimento (Autor, 2017).	42
Figura 2.16 – Fissuras em revestimento cerâmico (Silva, 2014).....	43
Figura 2.17 – Falha na junta de assentamento da placa cerâmica (Autor, 2017).	44
Figura 2.18 – Deterioração da argamassa de rejunte (Autor, 2017).....	45
Figura 2.19 – Local na fachada com eflorescência (Autor, 2017).	46
Figura 2.20 – Placa cerâmica gretada (Autor, 2017).....	47
Figura 2.9 – Teste de percussão com uso de martelo (Autor, 2017).....	49
Figura 2.10 – Ensaio de arrancamento (Galletto e Andrello, 2013).....	50
Figura 2.11 – Identificação dos elementos estruturais de concreto com análise termográfica infravermelha (Bauer e Pavón, 2015).....	51
Figura 2.12 – Identificação e mapeamento de fissuras em fachadas com revestimento em argamassa e pintura (Bauer e Pavón, 2015).	52
Figura 2.13 – Detecção de descolamento em uma fachada com revestimento cerâmico com termografia infravermelha (Bauer e Pavón, 2015).	52
Figura 3.1 – Esquema da sequência de procedimentos da metodologia adotada.	56
Figura 3.2 – Identificação da prumada e empena em uma amostra de fachada.	58
Figura 3.3 – Identificação das fachadas dos edifícios utilizadas no estudo.	59
Figura 3.4 – Imagem com localização e detalhe da amostra ER-02.....	61
Figura 3.5 – Orientação da fachada ER-03.....	61
Figura 3.6 – Esquema ilustrativo do critério de sobreposição da malha.	62

Figura 3.7 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do FDTtotal de todas as fachadas analisadas.	66
Figura 3.8 – Curva representativa do comportamento dos resultados dos FDTtotal no histograma (Silva, 2014).	67
Figura 3.9 – Percentual de manifestações patológicas observadas nas fachadas analisadas....	68
Figura 3.10 – FDMédio das manifestações patológicas analisadas, dividido entre fachadas com mais e menos de 20 anos.	69
Figura 3.11 – Curva de degradação do FDTtotal em função da idade, considerando todas as fachadas analisadas.	70
Figura 3.12 – Curva de degradação do FDTtotal em função da idade, considerando as fachadas até 21 anos.	71
Figura 3.13 – Gráfico com os valores de FDTtotal para cada orientação cardinal, considerando todas as fachadas.	73
Figura 3.14 – Gráfico com os valores de FDMédio de cada anomalia, para cada orientação cardinal, considerando todas as fachadas.....	73
Figura 3.15 – Curvas de degradação do FDTtotal, em função da idade, para cada orientação cardinal, considerando todas as amostras analisadas.....	74
Figura 3.16 – Percentual de manifestações patológicas observadas nas fachadas, com o Fator de Danos Combinado (FDC) aplicado.	77
Figura 3.17 – Curva de degradação com o FDCMédio das anomalias encontradas nas fachadas.	78
Figura 3.18 – Histograma com a distribuição dos valores de FDCTotal no total de amostras de fachada.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Vida útil de projeto (VUP) (adaptado da NBR..... 23 15575-1, ABNT 2013)..... 23	23
Tabela 2.2 – Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos para emboço (NBR 13749, ABNT 2013). 30	30
Tabela 2.3 – Requisitos de argamassa colante industrializada (NBR 14081, ABNT 2012). ... 31	31
Tabela 2.4 – Agentes de degradação em função da natureza (adaptado da ASTM 632:1996 . 33 e ISO 15686-1: 2011). 33	33
Tabela 2.5 – Procedência dos agentes de degradação (adaptado da ASTM 632:1996 e ISO .. 34 15686-1: 2011). 34	34
Tabela 2.10 – Características de fissuras e trincas pelas normas (adaptado ABNT NBR 9575:2003 e 15575-2:2013)..... 43	43
Tabela 2.9 – Limites da resistência de aderência à tração (Ra) para argamassa de emboço (adaptado – ABNT NBR 13749:2013)..... 49	49
Tabela 3.1 – Características das amostras de edifícios com identificação por edifício, idade, quantidade de andar, prumada, empena e total de amostras por edifício. 58	58
Tabela 3.2 – Tabela com os dados estatísticos dos Fatores de Danos das amostras de fachadas. 65	65
Tabela 3.3 – Planilha orçamentária para recomposição de descolamento/ deslocamento cerâmico..... 76	76
Tabela 3.4 – Valores de ponderação relativo ao custo de reparo de cada anomalia. 77	77

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ad	Área de manifestação patológica observada na amostra de fachada
Na	Área de uma fachada afetada por “ <i>n</i> ” tipos de anomalias
At	Área total de amostra
DD	Distribuição de Danos
FD	Fator de Danos
FDC	Fator de Danos Combinados
ICD	Índice de Chuva Dirigida
K	Constante
K _{c,n}	Custo relativo de reparação das anomalias observadas
K _n	Nível de condição de “ <i>n</i> ” anomalias
LEM	Laboratório de Ensaio de Materiais
m ²	Metro quadrado
MPa	Megapascal
MMD	Método de Mensuração da Degradação
NBR	Norma Brasileira
<i>n</i>	Tipo de anomalia
RCF	Revestimento Cerâmico de Fachada
SRC	Sistema de Revestimento Cerâmico
VUP	Vida Útil de Projeto
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	18
1.2.1	Objetivo geral	18
1.2.2	Objetivos específicos	18
1.3	ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO TRABALHO	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	CONCEITOS E GENERALIDADES	19
2.1.1	Desempenho	19
2.1.2	Manutenção	20
2.1.3	Durabilidade	22
2.1.4	Vida útil	22
2.2	SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO ADERIDO EM FACHADAS	26
2.2.1	Definição	26
2.2.2	Elementos de fachada associados ao sistema de revestimento cerâmico	29
2.3	AGENTES DE DEGRADAÇÃO EM FACHADAS	32
2.3.1	Chuva Dirigida	36
2.3.2	Condições climáticas da região de estudo	37
2.4	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RCF	39
2.4.1	Descolamento	40
2.4.2	Desplacamento	41
2.4.3	Fissuras e Trincas	42
2.4.4	Falhas nas juntas	44
2.4.5	Falha na argamassa de rejuntamento	45
2.4.6	Anomalias estéticas	45
2.4.7	Deterioração das placas cerâmicas – gretamento	46
2.5	ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DE DESCOLAMENTO/ DESPLACAMENTO EM RCF	47
2.5.1	Teste de percussão	48
2.5.2	Teste de resistência de aderência à tração (ensaio de arrancamento)	49
2.5.3	Análise termográfica	51
3	METODOLOGIA	55
3.1	COLETA DE DADOS E CLASSIFICAÇÃO DAS FACHADAS	57
3.2	CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS NAS FACHADAS	59
3.3	MAPEAMENTO DE DANOS NAS FACHADAS	60
3.4	FATOR DE DANOS (FD)	63

3.4.1. Análise da influência do tipo de dano na degradação das fachadas.....	65
3.4.2. Análise da influência do tempo na degradação das fachadas	70
3.4.3. Análise da influência da orientação cardinal na degradação das fachadas	72
3.5 FATOR DE DANOS COMBINADO (FDC)	76
4 CONCLUSÃO	80
4.1 TRABALHOS FUTUROS.....	81
5 REFERÊNCIAS	82
6 APÊNDICES.....	88
6.1 APÊNDICE A - DESENHO ESQUEMÁTICO DA FACHADA LATERAL DA AMOSTRA ER-02 COM SOBREPOSIÇÃO DA MALHA	88
6.2 APÊNDICE B – FICHA DE QUANTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS DA AMOSTRA ER-02.....	89
6.3 APÊNDICE C – RESULTADO DOS FATORES DE DANOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA	91
C.1 – Tabela com o Fator de Correção (FC) e Fator de Danos (FD) encontrados para cada fachada analisada.....	91
C.2 – Tabela com os FDT _{Total} e FDM _{Médio} de cada manifestação patológica detectada em cada fachada analisada.....	92
C.3 – Tabela com os valores de FDCT _{Total} e FDCM _{Médio} para cada manifestação patológica, considerando todas as fachadas analisadas.....	93

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Todo elemento construtivo sofre processo de degradação. Contudo, esse processo pode ser acelerado ou reduzido dependendo das condições de exposição, da sensibilidade à degradação de cada elemento, e das intervenções de manutenção, sendo elas preditivas ou corretivas (BAUER *et al.*, 2015).

No Brasil observa-se um aumento cada vez maior de edifícios com problemas relacionados a um desempenho insatisfatório. Portanto, aumentou-se o interesse do setor da construção civil em executar edificações com maior durabilidade, por meio da maior qualidade no nível de desenvolvimento dos projetos de engenharia, da mão de obra responsável pela construção e dos materiais que serão utilizados.

Para uma edificação, a fachada se configura como uma barreira que protege a sua estrutura contra os agentes externos agressivos, portanto, deve apresentar um desempenho satisfatório, como bom isolamento térmico, acústico e higroscópico, por exemplo. O sistema de revestimento cerâmico (SRC) passou a ser muito utilizado pelas construtoras da cidade de Belém, por conta de suas características de resistência mecânica, estética, durabilidade, capacidade de absorver deformações e apresentar uma boa estanqueidade (SILVA *et al.*, 2017).

Particularmente para o caso do Estado do Pará, a região apresenta um ambiente extremamente agressivo para os revestimentos de fachada, com elevadas temperaturas durante o dia, alto índice pluviométrico e de umidade relativa do ar. Com esse clima, as edificações precisam apresentar um isolamento térmico satisfatório, ao passo que proporcionem também estanqueidade. O revestimento cerâmico de fachada (RCF), teoricamente, satisfaz esses dois requisitos, entretanto, observa-se o crescente surgimento de manifestações patológicas nas fachadas das edificações da cidade.

Tanto os edifícios mais antigos como os novos, apresentam uma elevada incidência de manifestações patológicas nas fachadas. Isto reflete na necessidade de criar novas ferramentas metodológicas que auxiliem na compreensão da origem, dos mecanismos e dos efeitos dessas anomalias. A compreensão do comportamento e das principais causas das manifestações motiva a realização de diagnósticos cada vez mais sistematizados, assim garantindo a qualidade e

funcionalidade da fachada. O surgimento de anomalias não está relacionado a uma única causa, pois há diversos fatores que influenciam no surgimento de um dano. A complexidade da relação entre o dano e a causa dele, dificulta o processo de diagnóstico de vida útil da fachada, tornando-o impreciso. A observação sistemática dos danos e do sistema de fachada auxilia na elaboração de um diagnóstico mais eficaz, uma vez que, esta observação permite compreender melhor os mecanismos de degradação e estabelece hipóteses de causa e efeito das manifestações patológicas (BAUER *et al.*, 2012; BAUER; CASTRO, 2013; SILVA *et al.*, 2014; SOUZA, 2016).

O levantamento de manifestações patológicas em edificações, e seus componentes, é um tema bastante disseminado no meio científico, entretanto o estudo da quantificação da degradação e avaliação da vida útil em fachadas ainda é um tema recente e que vem mobilizando pesquisadores com o objetivo de estabelecer padrões de comportamento (GASPAR, 2009; FLORES-COLEN, 2009; ANTUNES, 2010; SILVA, 2014; SOUZA, 2016).

Segundo o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2017), Belém é uma das capitais mais chuvosas do Brasil, devido a seu clima equatorial, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, influenciado diretamente pela presença da floresta amazônica. A cidade não possui estações bem definidas. As precipitações são abundantes e acontecem quase todos os dias do ano, com índice pluviométrico mais concentrado entre os meses de dezembro a maio. A região também apresenta altas temperaturas durante o ano e a umidade relativa do ar é elevada, com valores que atingem médias mensais entre 85% e 95%. Portanto, um clima extremamente agressivo para as fachadas dos edifícios da região metropolitana.

A cidade apresenta elevados gradientes de radiação solar durante o ano (INMET, 2017) e segundo a Max *et. al* (2017), a região Norte está classificada na faixa de exposição de PROTEGIDO a MODERADO para o fenômeno da chuva dirigida, utilizando a metodologia de cálculo do Índice de Chuva Dirigida (ICD). Com o processo de envelhecimento dos edifícios da cidade, a degradação das fachadas se torna mais evidente, portanto, um estudo de quantificação da degradação nas fachadas se faz necessário.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo consiste em aplicar a metodologia de mapeamento e quantificação de danos nas fachadas de edifícios localizados na Região Metropolitana da cidade de Belém/PA, que permite estabelecer índices de intensidade de degradação em função do tipo de manifestação patológica, da idade e da orientação solar, por meio do cálculo do Fator de Danos (FD). Posteriormente, aplicar o Fator de Danos Combinado (FDC) que atribui índices de ponderação ao FD, relativos ao custo de reparação de cada manifestação patológica analisada.

1.2.2 Objetivos específicos

- Classificar, mapear e quantificar as manifestações patológicas observadas nas fachadas dos edifícios analisados.
- Aplicar o Fator de Danos (FD) nas fachadas analisadas.
- Analisar os fatores de influência no índice de degradação (FD) das fachadas, como o tipo de manifestação patológica, idade e orientação cardinal.
- Aplicar o Fator de Danos Combinado (FDC) nas fachadas analisadas, que pondera o Fator de Danos, através do custo de reparação de cada anomalia.

1.3 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL DO TRABALHO

Como forma de melhor organizar e expor a pesquisa, o trabalho foi dividido em seis capítulos:

- O Capítulo 1 apresenta a introdução, destacando o contexto e a justificativa que conduziram este estudo. Compreende uma abordagem geral, bem como os objetivos específicos.
- O Capítulo 2 aborda uma revisão bibliográfica com uma fundamentação teórica dos conceitos e generalidades do sistema de revestimentos cerâmico de fachadas (RCF), agentes de degradação, suas manifestações patológicas e algumas técnicas de inspeção.
- O Capítulo 3 descreve a metodologia adotada na pesquisa e o tratamento dos dados encontrados.
- O último capítulo apresenta as conclusões do trabalho, além das considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. Após esse capítulo, apresenta-se a bibliografia principal da pesquisa e os apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONCEITOS E GENERALIDADES

O processo de envelhecimento natural das edificações é traduzido em níveis crescentes de degradação e decrescentes de desempenho. Esse fenômeno é resultante de um processo natural de envelhecimento das fachadas, excluindo-se os casos cuja degradação seja resultado de acidentes ou ações humanas (GASPAR e BRITO, 2010).

Muitas vezes, erros que ocorrem durante as diversas etapas do processo de produção de fachadas, como planejamento, projeto, especificação, materiais, execução e utilização (operação e manutenção), acarretam a sua degradação. Por exemplo, no que diz respeito à fase de projeto, quando não são devidamente dimensionadas e localizadas as juntas, em função das ações atuantes, estas podem provocar diversas anomalias que afetam diretamente a durabilidade desta fachada (SILVESTRE; FLORES-COLEN; BRITO, 2005; COSTA, 2014;).

De forma a atender aos requisitos dos usuários, como qualidade, conforto, manutenção e durabilidade das edificações ao longo de sua vida útil, a NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece requisitos e critérios, independentemente dos materiais constituintes e do sistema construtivo utilizado, para os sistemas que compõem as edificações habitacionais.

2.1.1 Desempenho

A NBR 15575 (ABNT, 2013) define desempenho como a capacidade de atendimento das necessidades dos usuários da edificação quanto à saúde, conforto, adequação ao uso e economia. A manutenção de edificações visa preservar ou recuperar os serviços realizados para prevenir ou corrigir a perda de desempenho decorrente da deterioração dos seus componentes, ou de atualizações nas necessidades dos seus usuários.

Os principais objetivos da referida norma são:

- Estabelecimento de requisitos ou patamares mínimos abaixo dos quais as edificações não asseguram condições adequadas de uso;
- Estabelecimento de parâmetros no mercado de forma a reduzir a não conformidade;
- Definir responsabilidades mais claras, determinando quem projeta, especifica, fabrica, fornece, executa, opera e mantém;
- Além de possibilitar alcançar patamares mais diferenciados de desempenho como diferencial de produto.

A norma prevê ainda um planejamento dos serviços de manutenção, definidos em planos de curto, médio e longos prazos, de maneira a:

- a) coordenar os serviços de manutenção para reduzir a necessidade de sucessivas intervenções;
- b) minimizar a interferência dos serviços de manutenção no uso da edificação e a interferência dos usuários sobre a execução dos serviços de manutenção;
- c) otimizar o aproveitamento de recursos humanos, financeiros e equipamentos.

A presença dos requisitos mínimos de desempenho para os empreendimentos somados a indicadores na avaliação da conformidade de produtos e processos com a qualidade especificada na fase de produção e utilização contribui com a prevenção de manifestações patológicas e, por consequência, com a consolidação de técnicas construtivas adequadas e produtivas visando uma maior durabilidade das edificações (GASPER e BRITO, 2005).

2.1.2 Manutenção

Prevista na NBR 15575-1 (ABNT, 2013), manutenção é descrita como “um conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários”.

A NBR 14037 (ABNT, 2011) prevê que todas as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação devem ser fornecidas pelos construtores aos usuários através de um documento em forma de manual de uso, operação e manutenção, que tem por finalidade:

- informar aos usuários as características técnicas da edificação construída;
- descrever procedimentos recomendáveis para o melhor aproveitamento da edificação;
- orientar os usuários para a realização das atividades de manutenção;
- prevenir a ocorrência de falhas e acidentes decorrentes de uso inadequado;
- contribuir para o aumento da durabilidade da edificação.

De acordo com Antunes (2010), existem diferentes tipos de manutenção a ser consideradas:

- Manutenção planejada preventiva: atividades realizadas durante a vida útil da edificação, de maneira a antecipar-se ao surgimento de defeitos;
- Manutenção planejada corretiva: atividades realizadas para recuperar o desempenho perdido;

- Manutenção não planejada: definida como o conjunto de atividades realizadas para recuperar o desempenho perdido devido a causas externas não previstas.

Gaspar e Brito (2005) enfatizam que o adequado diagnóstico do estado de conservação dos elementos de fachada e o seu prognóstico de comportamento servem para auxiliar projetistas e usuários a conceber edificações e estratégias de manutenção que permitam incrementar a durabilidade desses componentes. Segundo os autores, quando se trata de fachadas, a vida útil de um edifício encontra-se diretamente relacionada com a manutenção do desempenho do revestimento acima dos níveis mínimos exigíveis.

Segundo Flores-Colen *et al.* (2017), a manutenção deve ser preconizada ainda em fase de projeto e suas operações afetam o comportamento dos elementos ao longo do tempo, alterando os modelos de degradação (originando eventuais acréscimos de desempenho), os valores das vidas úteis e, por conseguinte, os custos de manutenção. Para Chaves (2009), as correções são mais duráveis, mais fáceis de executar e com menor custo, quanto mais cedo forem realizadas, conforme a Lei de evolução de custos ou Lei de Sitter (Figura 2.1).

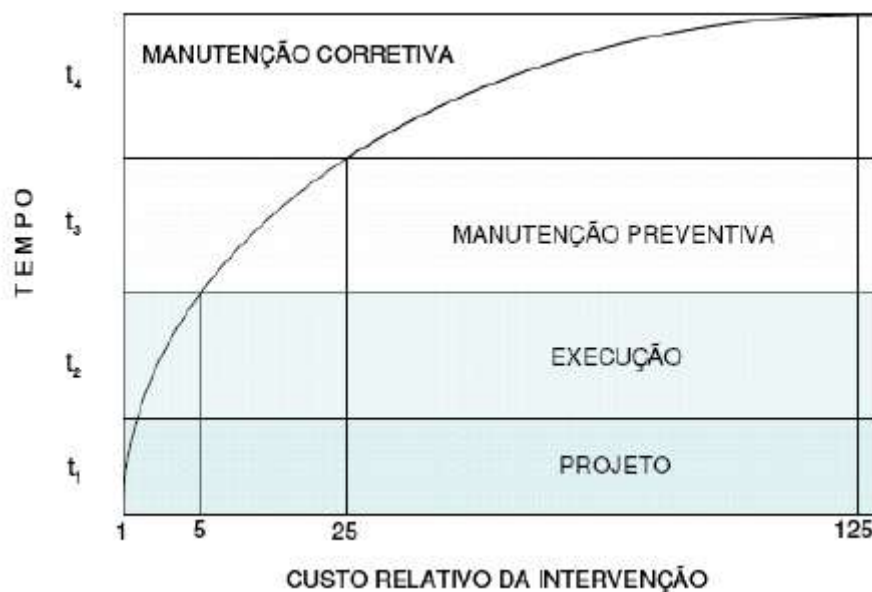


Figura 2.1 - Lei de evolução de custos ou Lei de Sitter (Chaves, 2009).

É possível inferir, pelo gráfico da Lei de evolução de custos, que operações realizadas como medidas preventivas, como pinturas, limpezas e impermeabilizações (manutenção preventiva),

têm como objetivo assegurar condições favoráveis da fachada durante o seu período de vida útil, e podem custar um valor 25 vezes maior do que se as mesmas fossem consideradas em fase de projeto. Já intervenções de reparo ou reforço em fachadas que apresentam anomalias claras (manutenção corretiva) estão associadas a um custo 125 vezes maior do que se as mesmas fossem contempladas na fase de projeto.

2.1.3 Durabilidade

A norma ISO 15686-1 (2011) define durabilidade como “capacidade do edifício ou seus elementos de desempenhar as funções requeridas durante um determinado período de tempo sobre influência dos agentes previstos em projeto”.

Como requisitos de durabilidade, o edifício deve manter a capacidade funcional durante a vida útil prevista em projeto sem os sinais de desgaste, desde que realizadas as intervenções periódicas de manutenção e conservação (NBR 15575, ABNT 2013).

O estudo da durabilidade permite (Brito *et al.*, 2013):

- avaliar e prever a vida útil dos materiais, componentes e sistemas do edifício;
- definir estratégias de manutenção e substituição dos elementos de construção;
- estimar o custo da manutenção, remodelação ou substituição dos edifícios ou de suas partes, ao longo da sua vida útil;
- estimar os custos e as metodologias requeridas para o prolongamento da vida útil das construções.

A durabilidade e o desempenho das fachadas dependem das decisões tomadas nas diversas etapas do processo de produção dos edifícios, ou seja, no planejamento, projeto, especificação, materiais, execução e utilização (operação e manutenção). O bom andamento desse processo deve levar a uma série de atividades programadas que prolongam sua vida útil a um custo compensador (GASPAR e BRITO, 2010).

2.1.4 Vida útil

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) e a ISO 15686-1 (2011) definem vida útil como o período de tempo após a instalação, durante o qual todas as condições de um edifício ou parte dele atendem ou excedem os requisitos de desempenho. A relatividade do valor de vida útil está associada à

variação dos requisitos mínimos de desempenho considerados, pois os critérios de desempenho se modificam conforme os padrões de conforto da época, do contexto social, do uso que lhe é atribuído, do enquadramento normativo e ainda de quem os executa.

Vida útil de projeto (VUP) é o período estimado de tempo em que um sistema é projetado para atender os requisitos de desempenho, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção. Orienta a fabricação de elementos e sistemas construtivos e também a previsão do desempenho contemplando as atividades interventivas de manutenção da edificação (NBR 15575-1, ABNT 2013).

A metodologia prevista na NBR 15575-1 a NBR 15575-6 (ABNT, 2013) para a determinação da VUP mínima incluem três conceitos essenciais:

- a) Efeito acarretado por uma falha no desempenho do sistema;
- b) Nível de dificuldade de manutenção e reparação;
- c) Custo de correção da falha.

As fachadas devem ser projetadas de forma que estas tenham uma durabilidade potencial compatível com a vida útil de projeto (VUP), que equivale ao período mínimo de 40 anos para sistemas de vedação vertical externa ou, se tratando de revestimento de fachada aderido equivale ao período mínimo de 20 anos, conforme a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Vida útil de projeto (VUP) (adaptado da NBR 15575-1, ABNT 2013).

Parte da edificação / Sistema	Mínima	VUP (anos) Intermediária	Superior
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Revestimento de fachada aderido e não aderido	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Pintura (fachadas e revestimentos sintéticos texturizados)	≥ 8	≥ 10	≥ 12

A vida útil é prolongada através de ações de manutenção e pode ser representada pela relação entre desempenho e o tempo em vida de edifícios. São ilustrados, na Figura 2.2, os três níveis de desempenho exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013), resultando em diferentes definições de vida útil.



Figura 2.2 – Desempenho ao longo do tempo de um elemento ou sistema (NBR 15575-4, ABNT 2013).

Os níveis de desempenho M, I ou S (nível mínimo, intermédio e superior) estão representados na Figura 2.2, onde os níveis mínimos M devem ser obrigatoriamente atendidos e os níveis I e S dependem da agregação da qualidade dos produtos com diferentes relações custo/benefício. Os três níveis de desempenho estão associados a perda de desempenho prevista no projeto, a aspectos funcionais e aos riscos de segurança.

As ações de manutenção devem ser estabelecidas para garantir o atendimento da vida útil e devem ser realizadas pelo usuário. Cita-se o exemplo apresentado na NBR 15575-1 (ABNT, 2013): um revestimento de fachada em argamassa pintado pode ser projetado para uma VU de 25 anos, desde que a pintura seja refeita a cada 5 anos, no máximo. Caso o usuário não realize a manutenção prevista, a vida útil do sistema pode ser comprometida e permitir o surgimento de eventuais manifestações patológicas, as quais podem ser resultantes de uso inadequado.

A vida útil de um edifício é condicionada, não só pela sua estrutura, mas também pelos seus elementos constituintes. Os revestimentos são os elementos mais expostos às condições

adversas, constituindo um sistema de proteção da própria estrutura. Devem, por isso, conservar as suas características durante o período de vida útil, de modo a respeitarem os níveis mínimos de desempenho (SILVA, 2009).

Para Bauer *et al.* (2015), os componentes do edifício, como é o caso dos revestimentos, possuem, em geral, uma vida útil inferior à vida útil total da edificação, devendo por isso ser sujeitos a obras de manutenção durante a fase de serviço. A existência de manutenção regular prolonga o período de vida útil das construções.

Edificações com manifestações patológicas precoces e, em especial nas fachadas, tendem a diminuir a autoestima dos seus moradores, além de depreciar substancialmente o valor do bem, ou forçar a antecipação do processo de manutenção, para o qual, por vezes, são dispensados valores vultosos (BAUER *et al.*, 2011).

Silva (2014) classifica as manifestações patológicas em função de suas origens em:

- a) congênicas – originárias da fase de projeto;
- b) construtivas – originadas na execução da obra (por exemplo, mão de obra desqualificada ou qualidade do material);
- c) adquiridas – ocorrem durante a vida útil, sendo resultado de exposição ao meio e em função da falta de manutenção;
- d) acidentais – ocasionadas por fenômenos atípicos, como a ação de chuvas com ventos de intensidade superior ao normal, recalques e, até mesmo incêndio.

Segundo a autora, as manifestações patológicas em revestimento de fachada nunca são atribuídas a apenas uma causa, geralmente é resultante da combinação de inúmeras variáveis como:

- falhas dos materiais;
- falhas na especificação;
- falhas decorrentes do processo executivo;
- deformação higroscópica;
- deformação térmica;
- deformações estruturais.

As causas mais comuns para as manifestações patológicas de revestimento são a inexistência de projeto, utilização de materiais inadequados, erros de execução (tanto no preparo da base, como por deficiência de mão de obra), desconhecimento ou não observância das Normas Técnicas e ainda por falhas de manutenção.

A Figura 2.3 mostra o percentual das principais causas de anomalias em edifícios listadas anteriormente.

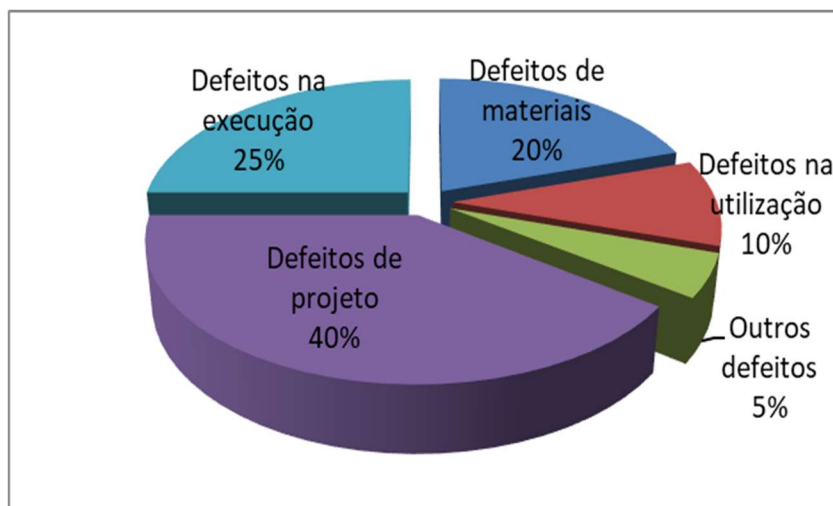


Figura 2.3 – Causas de anomalias em edifícios (adaptado de Chaves, 2009).

2.2 SISTEMA DE REVESTIMENTO CERÂMICO ADERIDO EM FACHADAS

2.2.1 Definição

A NBR 13755 (ABNT, 2017) define revestimento externo aderido como sendo o conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas, constituído pela estrutura-suporte, alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final.

Independente do tipo ou tecnologia empregada na sua produção, os revestimentos de fachadas devem cumprir suas funções e requisitos de desempenho. Sabbatini *et al.* (2003) sintetizam as funções dos revestimentos, as quais são aqui retomadas:

- Proteger a edificação: a função do revestimento de fachada de proteger os elementos da vedação e da estrutura contra a deterioração está associada às exigências de durabilidade dos elementos estruturais e das vedações (lajes, vigas, paredes, etc) evitando a ação direta de agentes agressivos sobre estes;

- Auxiliar as funções do vedo: ou seja, ajudar as vedações no cumprimento de suas funções, tais como de estanqueidade ao ar e à água, proteção termo-acústica e funções de segurança (contra a ação do fogo; contra intrusões; estrutural da própria vedação);
- Proporcionar acabamento final: os revestimentos definem as características estéticas da vedação e do edifício, definindo o padrão e o valor econômico deste.

Para Toledo (2007), o RCF aderido se constitui em um conjunto monolítico de camadas (inclusive o emboço de substrato) aderidas à base suporte da fachada do edifício (alvenaria ou estrutura), cuja capa exterior é constituída de placas cerâmicas, assentadas e rejuntadas com argamassa ou material adesivo.

Com base no citado anteriormente, pode-se ressaltar três camadas básicas do sistema de revestimento cerâmico aderido (Figura 2.4): camada de regularização, camada de fixação e camada de acabamento (placas cerâmicas e juntas).

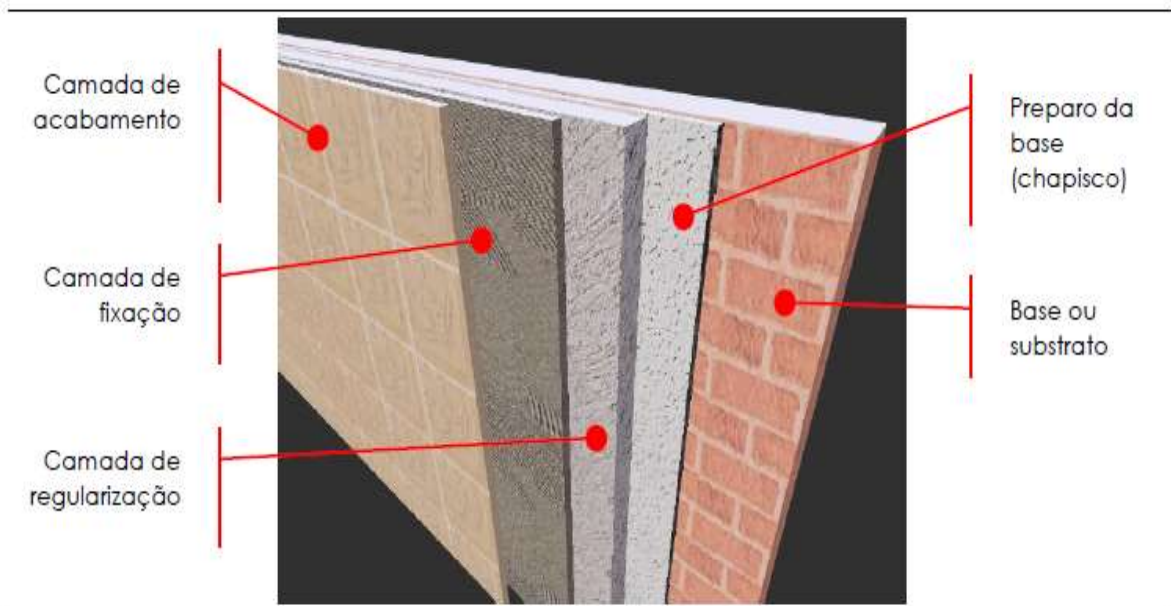


Figura 2.4 – Camadas constituintes do revestimento cerâmico aderido (Junginger e Medeiros, 2003).

Segundo Mansur (2007), as placas cerâmicas de revestimento podem ser utilizadas como acabamento de fachadas de duas maneiras principais, função da técnica construtiva utilizada:

- Sistemas aderidos: são sistemas nos quais as placas cerâmicas trabalham completamente aderidas sobre bases e substratos que lhes servem de suporte (Figura 2.5);

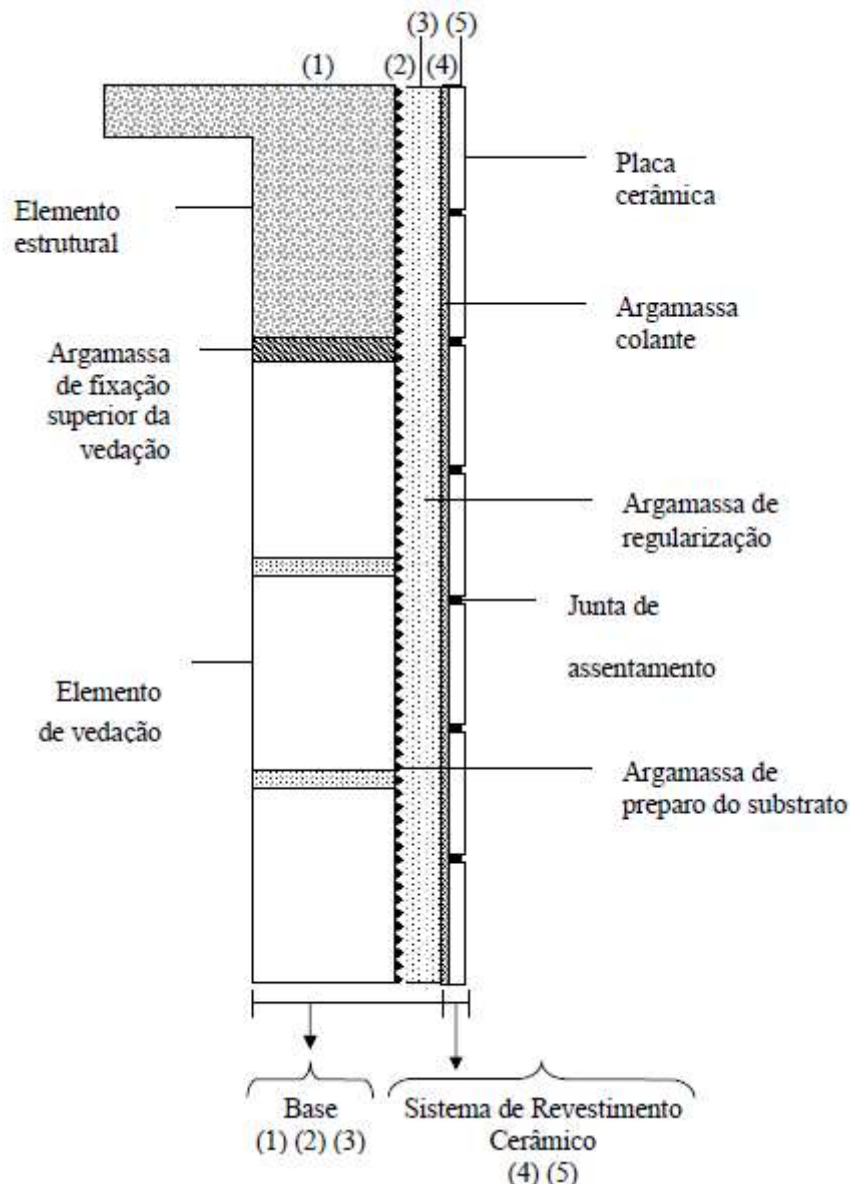


Figura 2.5 – Representação esquemática do sistema de revestimento cerâmico. (1) representa o substrato; (2) e a argamassa de preparo do substrato, usualmente denominada chapisco; (3) corresponde à argamassa de regularização, denominada emboco; (4) e a argamassa colante industrializada de fixação das placas cerâmicas e (5) corresponde ao conjunto formado pelas peças cerâmicas e a argamassa de preenchimento das juntas de assentamento (MANSUR, 2007).

- Sistemas não aderidos: são sistemas nos quais as placas cerâmicas são fixadas por dispositivos especiais não estando diretamente aderidas a um substrato. Geralmente existe uma região intermediária entre as placas cerâmicas e o substrato que pode ser preenchida com ar e/ou com outros dispositivos com finalidade de impermeabilização e isolamento térmico e/ou acústico. Um bom exemplo deste tipo de sistema são as fachadas ventiladas.

2.2.2 Elementos de fachada associados ao sistema de revestimento cerâmico

a) Base ou substrato

No caso de edificações com estrutura convencional, a base é composta de alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto, e pelos elementos da estrutura de concreto (pilares, pilares e lajes), e tem como função dar suporte às camadas posteriores.

Mansur (2007) cita a importância de conhecer também que tipo de base ou substrato foi utilizado, bem como sua interação com a estrutura, não somente pelo seu efeito estético, mas no sentido de nortear a escolha do revestimento mais conveniente em cada caso.

Segundo a autora, o sistema de revestimento deve ser compatível com a natureza do substrato, para o desenvolvimento da aderência, pois a rugosidade superficial do mesmo permite um maior intertravamento do revestimento à base, além de aumentar a superfície de contato, principalmente se a superfície for rugosa e tiver poros abertos. Sabe-se que substratos rugosos possuem maior área de contato com a argamassa aplicada e já os substratos lisos devem ter as superfícies preparadas com o intuito de torná-las adequadamente rugosas.

b) Camada de regularização

O emboço, camada de revestimento de argamassa que recebe a camada de acabamento, além de cumprir com funções que integram as funções do vedo, como a de contribuir para a estanqueidade do conjunto, apresenta funções específicas como a de regularizar a superfície e a de distribuir tensões oriundas das movimentações diferenciais entre a camada de revestimento cerâmico e a base (GASPAR, 2009).

Para tanto, a camada de emboço, usualmente produzida com argamassa inorgânica, deve se manter aderida às camadas adjacentes e também minimizar o efeito dos movimentos diferenciais entre essas camadas. Para isto, recomenda-se que a camada de emboço, em revestimentos externos, seja produzida com espessura de 20 a 30 mm, conforme a Tabela 2.2 (NBR 13749, ABNT 2013).

Tabela 2.2 – Espessuras admissíveis de revestimentos internos e externos para emboço (NBR 13749, ABNT 2013).

Revestimento	Espessura (mm)
Parede interna	$5 \leq e \leq 20$
Parede externa	$20 \leq e \leq 30$
Tetos interno e externo	$e \leq 0,20$

Para cumprir adequadamente as funções no conjunto dos revestimentos cerâmicos, a camada de emboço deverá ter uma adequada capacidade de absorver as deformações da base, mantendo-se íntegra, além de apresentar adequada resistência mecânica de corpo e, sobretudo, superficial a fim de resistir adequadamente às tensões que lhe são impostas pela camada de acabamento – as placas cerâmicas e rejunte.

c) Camada de fixação

Segundo Bauer *et al.* (2012), a camada de fixação é a camada responsável por unir e manter fixas as placas cerâmicas ao emboço, resistindo às tensões de tração e cisalhamento que ocorrem em ambas as interfaces: emboço-camada de fixação e camada de fixação-placa cerâmica.

De acordo Antunes (2010), a argamassa colante é utilizada em larga escala na fixação dos componentes cerâmicos, pelas suas vantagens de aplicação e de produção, quando comparado com os métodos tradicionais:

- proporciona melhor resistência de aderência que as argamassas convencionais;
- a sua retração não provoca tensões prejudiciais na camada final de revestimento;
- permite a utilização de uma técnica de grande produtividade, mais simples e limpa.

De acordo com a NBR 14081 (ABNT, 2012), são quatro os tipos de argamassa colante existentes, que se diferenciam entre si por propriedades como tempo em aberto, resistência de aderência à tração aos 28 dias e deslizamento (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Requisitos de argamassa colante industrializada (NBR 14081, ABNT 2012).

Propriedade	Método de ensaio	Argamassa colante industrializada			
		ACI	ACII	ACIII	E
Tempo em aberto	ABNT NBR 14083	≥ 15min	≥ 20min	≥ 20min	Argamassa do tipo I, II ou III, com tempo em aberto estendido em no mínimo 10min o especificado nesta tabela.
Resistência de aderência à tração aos 28 dias	ABNT NBR 14084 (cura normal)	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa	
	ABNT NBR 14084 (cura submersa)	≥ 0,5 MPa	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa	
	ABNT NBR 14084 (cura em estufa)	-	≥ 0,5 MPa	≥ 1,0 MPa	
Deslizamento	ABNT NBR 14085	≤ 0,7mm	≤ 0,7mm	≤ 0,7mm	

Por fazer interface com o substrato e com a camada de acabamento, a camada de fixação tem um papel determinante no desempenho do sistema de revestimentos cerâmicos. A aderência em ambas as interfaces deve apresentar nível satisfatório frente às solicitações e aos esforços a que todo o conjunto estará submetido. Assim, esta camada é um ponto crítico do revestimento cerâmico, pois quando as tensões superam seu limite de resistência de aderência, causam o descolamento das placas cerâmicas ou mesmo o seu deslocamento da superfície do emboço.

d) Camada de acabamento

A camada de acabamento é a camada final, composta pelas placas cerâmicas e pelas juntas de assentamento, preenchidas com rejunte. Por se encontrar diretamente exposta à ação de intempéries, é a camada do sistema mais solicitada pela ação das variações de temperatura e umidade. Assim, tanto as placas cerâmicas como os rejuntas, precisam apresentar, além das características estéticas, propriedades que garantam desempenho adequado ao longo de sua vida útil (BAUER *et al.*, 2014).

Segundo Bauer *et al.* (2012), para que o revestimento de fachada atinja um desempenho desejado, é importante a previsão de juntas, que podem existir em diferentes formas, como juntas de assentamento, juntas de movimentação e dessolidarização, e ainda juntas estruturais, como ilustra a Figura 2.6.

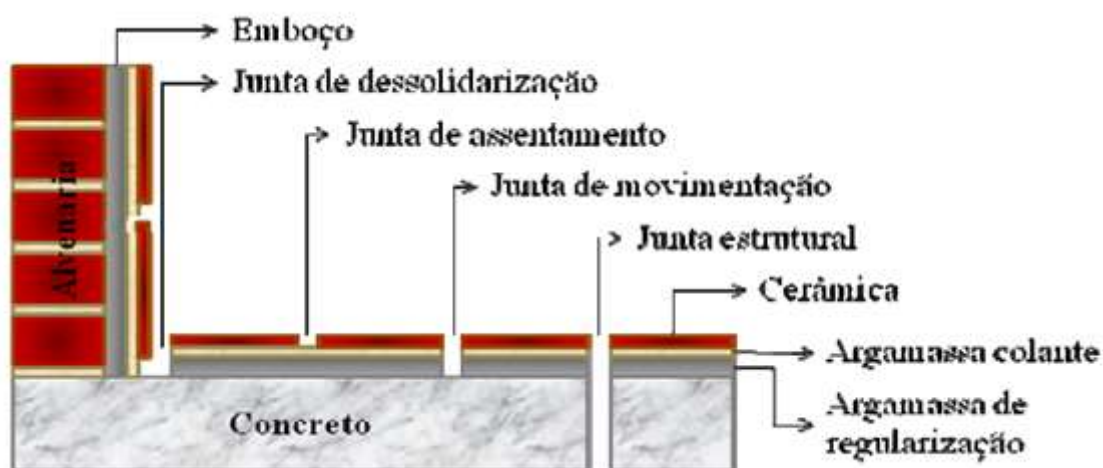


Figura 2.6 – Tipos de juntas (Antunes, 2010).

No caso de fachadas com revestimento cerâmico, a NBR 13755 (ABNT, 2017) recomenda a execução de juntas horizontais de movimentação com espaçamento inferior a 3m ou a cada pé-direito, e de juntas verticais no máximo a cada 6m. As aberturas das juntas de movimentação são preenchidas com selante com o objetivo de impedir a passagem de água ou materiais que sejam prejudiciais ao revestimento.

A não utilização de juntas no sistema de revestimento pode favorecer a formação de fissuras, mas, seus usos indiscriminados, sem atender às especificações e aos intervalos de manutenção previstos, geometria indicada, aumentam a potencialidade de penetração de umidade, e possível surgimento de manifestações patológicas.

2.3 AGENTES DE DEGRADAÇÃO EM FACHADAS

Os agentes que atuam sobre os componentes de uma edificação e provocam alterações nos materiais diminuindo o seu desempenho são denominados de agentes de degradação. Na Tabela 2.4 e Tabela 2.5 estão apresentados, respectivamente, os agentes de degradação dos materiais e componentes em função de sua natureza e procedência (ANTUNES, 2010; ISO 15686-1, 2011; SILVA, 2014; SOUZA, 2016).

Tabela 2.4 – Agentes de degradação em função da natureza (adaptado da ASTM 632:1996 e ISO 15686-1: 2011).

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

Tabela 2.5 – Procedência dos agentes de degradação (adaptado da ASTM 632:1996 e ISO 15686-1: 2011).

Procedência	Classe
Provenientes da atmosfera	Água no estado líquido
	Umidade
	Temperatura
	Radiação solar - radiação ultravioleta
	Gases de oxigênio
	Ácido sulfúrico
	Gases ácidos
	Bactérias, insetos
	Vento com partículas em suspensão
Provenientes do solo	Sulfatos
	Cloretos
	Fungos
	Bactérias
	Insetos
Provenientes ao uso	Esforços de manobra
	Agentes químicos normais em uso doméstico
Provenientes do projeto	Compatibilidade química
	Compatibilidade física
	Cargas permanentes e periódicas

Um dos agentes de degradação mais agressivos aos revestimentos de fachadas é proveniente da ação da temperatura e radiação solar, que ocasionam uma variação de temperatura. O clima brasileiro apresenta temperaturas médias anuais consideradas elevadas, como pode ser visto na Figura 2.7, fato este que exerce grande influência no processo de degradação das fachadas.

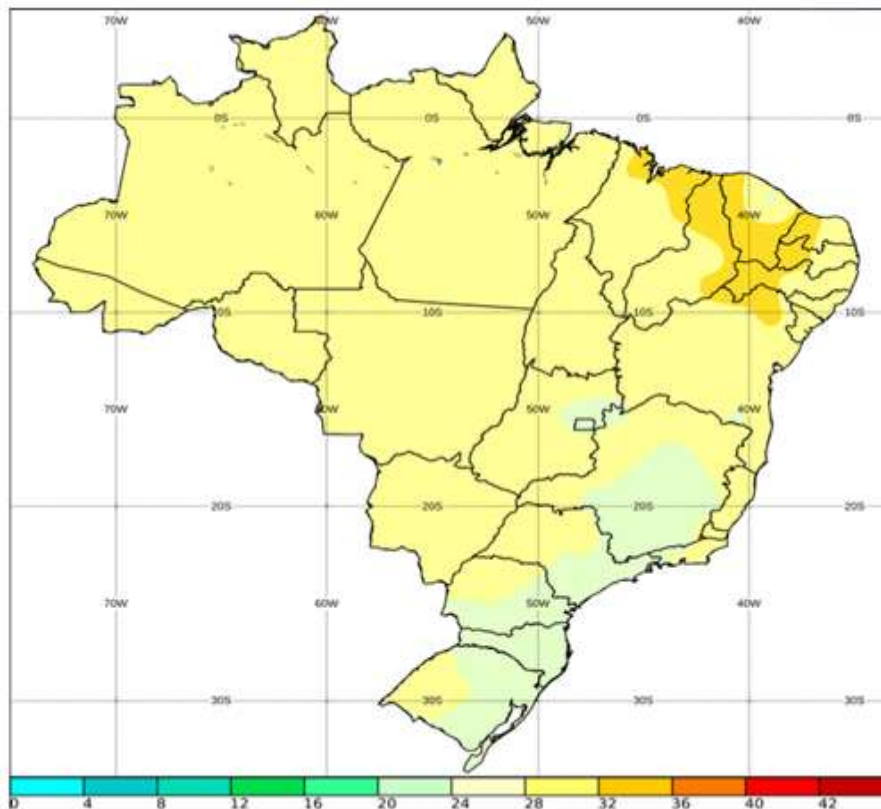


Figura 2.7 – Mapa brasileiro de temperatura média compensada anual – período 2017 (INMET, 2017).

A variação de temperatura provoca alterações físicas e químicas nos materiais, gerando fissuras, descolamento e rupturas, principalmente nos revestimentos porosos, por absorverem umidade e calor, ocasionando grandes tensões nas interfaces dos componentes. A degradação em fachadas é resultante da combinação de inúmeras variáveis, como: falhas dos materiais, falhas na especificação, falhas decorrentes do processo executivo, deformação higroscópica, deformação térmica, deformações estruturais, entres outros (SILVA 2014; SOUZA, 2016).

Uma das dificuldades de estabelecer uma relação dos agentes que degradam o sistema de revestimento de fachada é a grande variedade de fenômenos naturais que o afetam, tais como ventos, temperatura, chuva, radiação solar, maresia, entre outros. Um exemplo típico de agentes degradantes oriundos das condições climáticas de exposição é a chuva e vento, também denominado de chuva dirigida ou chuva incidente, que quando incidem sobre a fachada, oferecem condições propícias para desenvolver anomalias (BAUER, 2013; SILVA, 2014; SOUZA, 2016).

2.3.1 Chuva Dirigida

O conceito de chuva dirigida foi apresentado e consolidado, durante os anos 60, pelo CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*). A chuva dirigida é um fenômeno climático que tem sua origem na associação da chuva e do vento, sendo considerada por Zanoni (2015), como a maior fonte de umidade que as fachadas de um edifício podem receber do meio externo, por essa razão, ela afeta diretamente o desempenho da edificação.

A quantidade de chuva dirigida que incide nas fachadas dos edifícios é influenciada por uma série de parâmetros como a geometria do edifício, a topografia, a posição das fachadas, a velocidade e direção do vento, a intensidade da precipitação, o tamanho das gotas e a duração do vento de chuva. Devido ao grande número de parâmetros e suas variações, a quantificação da chuva dirigida é um problema complexo (ZANONI, 2015).

O grau de importância atribuído ao estudo da penetração da chuva varia de região para região. Em regiões de altos índices de precipitação e umidade relativa do ar, como é o caso do município de Belém, certamente as solicitações impostas ao SRF, no que se refere à estanqueidade, são bem mais significativas, necessitando de maiores cuidados na concepção das fachadas.

O índice de chuva dirigida (ICD) é utilizado para estudos de projetos, estanqueidade dos elementos de fachadas e para análises de durabilidade. Quando se tem conhecimentos acerca desses fatores, as chances de redução de gastos na concepção de projetos e execução são maiores, proporcionando uma segurança no desempenho de fachada. Segundo Max *et al.* (2017), o International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB) estabeleceu que o ICD é o produto entre a velocidade média do vento e a quantidade total de precipitação, conforme Equação 2.1.

$$ICD = (V \times P) / 1000 \quad (2.1)$$

Onde,

ICD – Índice de Chuva Dirigida (m²/s);

V – Velocidade média do vento (m/s) para o período considerado;

P – Somatório da precipitação (mm) para o período considerado.

A orientação de uma determinada fachada tem relevância em relação à incidência de chuva carregada por um vento pluvial dominante, isto é, os lados da edificação que estiverem voltados a ventos predominantes de determinada região receberão maiores quantidades de chuva (GIONGO, 2007; MELO JÚNIOR, 2010).

Freitas (2011) complementa que a orientação crítica da fachada é determinada pela combinação da chuva dirigida e da radiação solar (secagem). A chuva dirigida máxima não condiciona o maior teor de umidade, uma vez que esse efeito pode ser reduzido pela secagem mais rápida provocada pela ação da radiação solar.

2.3.2 Condições climáticas da região de estudo

Localizada na região norte do Brasil, Belém é uma cidade com o clima equatorial, caracterizado por ter uma umidade relativa do ar elevada, atingindo valores acima de 85% (Figura 2.8). Com um alto índice pluviométrico e de temperatura, a cidade não possui estações bem definidas, chovendo quase todos os dias, com maior precipitação entre os meses de dezembro a maio (INMET, 2017).

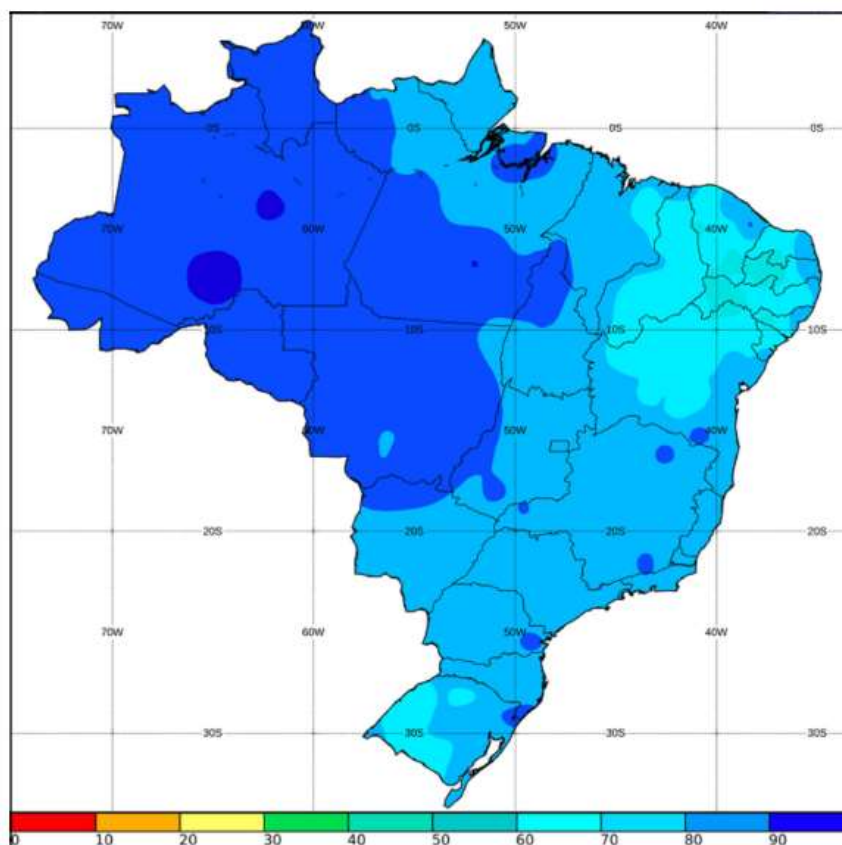


Figura 2.8 – Mapa brasileiro de umidade relativa média mensal – dezembro/2017 (INMET, 2017).

São poucas as informações que permitem o entendimento do comportamento do fenômeno da chuva dirigida para a região norte. Acredita-se que a carência de estudos para a região se dê pela falta de dados históricos consistentes, tendo em vista que as estações meteorológicas automáticas são recentes (MAX *et al.*, 2017).

Na pesquisa desenvolvida por Max *et. al* (2017), os autores apresentaram os resultados de precipitação anual acumulada e velocidade média anual dos ventos obtidos através das estações do INMET e do CPTEC/INPE para o período compreendido entre 2009 a 2013. Os valores totais de precipitação anual apresentaram diferenças em função da estação de coleta analisada. Os dados fornecidos pelo INMET mostraram uma precipitação anual média de 3062,72 mm/ano, enquanto os dados fornecidos pelo CPTEC/INPE apresentaram uma precipitação anual média de 3496,08 mm/ano. Segundo o Mapa brasileiro de precipitação média total anual, disponível na página virtual do INMET em 2015, com base nos dados de precipitação dos anos de 1961 a 1990, a cidade de Belém encontra-se na faixa que vai de 2850 mm a 3250 mm por ano.

O estudo avaliou que a velocidade média medida pela estação do CPTEC/INPE foi superior em todos os anos analisados, tendo como velocidade média o valor de 2,87 m/s enquanto a estação do INMET apresentou uma velocidade média de 0,95 m/s para o mesmo período. Esta diferença pode ser explicada em função das condições no entorno das estações. A estação do CPTEC/INPE, por se localizar na área do Aeroporto, tem a tendência de registrar velocidades média maiores, uma vez que, a região possui grandes áreas planas e poucos obstáculos verticais, o que favorece maiores medições de velocidade do vento.

A pesquisa concluiu que os resultados do Índice de Chuva Dirigida (ICD) podem variar de acordo com a fonte de dados adotada como referência. Constatou-se que, enquanto a estação do INMET apresenta grau de exposição de Protegido a Moderado, a estação do CPTEC/INPE apresenta resultados que variam de Moderado a Severo.

No mapa nacional de chuva dirigida, elaborado por Lima e Morelli (2005), Belém está classificada na faixa de exposição MODERADO. O mapa foi elaborado com base em dados de precipitação anual e velocidade média anual dos ventos referentes ao ano de 2004, utilizando a metodologia de cálculo do Índice de Chuva Dirigida (ICD).

A direção predominante da chuva dirigida direcional também apresentou diferenças em função das estações analisadas, enquanto a estação do INMET apresentou direções principais Norte com fortes tendências para Leste, a estação do CPTEC/INPE apresentou direção principal Nordeste com poucas variações para direções secundárias (MAX *et. al*, 2017)

2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RCF

A patologia na construção é entendida como o estudo das anomalias das construções, dos elementos ou dos seus materiais. Por sua vez, a anomalia é considerada como uma redução do desempenho previsto em projeto, sendo decorrente da degradação ou da deterioração do elemento ou material em estudo (RODRIGUES *et al.*, 2011).

Segundo Silva (2014), as manifestações patológicas nos sistemas de revestimento cerâmico podem ser classificadas como estéticas ou funcionais.

- a) As anomalias estéticas, em geral, não representam riscos para a estabilidade e segurança dos edifícios, prejudicam apenas a aparência da edificação, como, por exemplo, eflorescências e manchas.
- b) As anomalias funcionais são aquelas que afetam tanto a aparência, a integridade dos componentes do edifício, bem como a segurança dos usuários. Essas manifestações patológicas podem ter origem a partir da evolução dos defeitos estéticos. O descolamento cerâmico e as fissuras são exemplos de manifestações patológicas funcionais.

Dentre as manifestações patológicas normalmente observadas em vedações verticais destacam-se: descolamentos, deslocamentos, fissuras e trincas, falhas nas juntas, falhas de rejunte, manchas, falhas de vedação e deterioração de placas cerâmicas.

2.4.1 Descolamento

A perda de aderência pode ser entendida como um processo em que ocorrem falhas ou ruptura na interface dos componentes cerâmicos com a camada de fixação ou na interface desta com o substrato, devido as tensões surgidas ultrapassarem a capacidade de aderência das ligações (SILVA, 2014). Segundo Brito *et al.* (2007), este problema se manifesta nas placas cerâmicas (quando percutidas) através de um som cavo, ou ainda em áreas em que se observa o afastamento físico da camada de acabamento (placas cerâmicas e rejunte), podendo ocorrer, eventualmente, o descolamento imediato (Figura 2.14).



Figura 2.14 – Descolamento de placas cerâmicas (Silva, 2014).

Sabbatini e Barros (2001) citam as principais causas vinculadas ao descolamento:

- Grau de solicitação do revestimento;
- A instabilidade do suporte, dada à acomodação do conjunto da construção;
- Deformação lenta (fluência) da estrutura de concreto armado, variações higrotérmicas e de temperatura, características um pouco resilientes dos rejuntas;
- As características, ou ausência, das juntas de assentamento e de movimentação;
- A ausência de detalhes construtivos (contravergas, juntas de canto de parede, etc.) e de especificação dos serviços de execução;
- A fixação dos componentes cerâmicos após o vencimento do tempo de abertura da argamassa colante e a presença de pulverulência ou de materiais deletérios nas superfícies de contato (base-regularização – componente cerâmico), fatores que nem sempre são observados quando da execução do revestimento.

2.4.2 Desplacamento

O Desplacamento ocorre quando há a queda das placas cerâmicas isoladas, juntamente com a argamassa de assentamento (Figura 2.15) ou até mesmo com o emboço. As causas dessa manifestação patológica são diversas, abrangendo projeto, execução, materiais e mão de obra. No entanto, na maioria das vezes, um problema não é causado por um único fator, mas pela interação de diversos aspectos atuando simultaneamente. (SILVA, 2014).

Segundo BAUER *et. al.*, (2015), deslocamentos em RCF podem ocorrer com o desprendimento da cerâmica por ruptura adesiva nas interfaces placa cerâmica/argamassa colante, argamassa colante/emboço, emboço/chapisco e chapisco/substrato ou por ruptura coesiva no interior de qualquer uma destas camadas.



Figura 2.15 – Deslocamento do revestimento (Autor, 2017).

Entre as prováveis causas do deslocamento estão a falta de aderência entre as camadas, a expansão da cerâmica em virtude da umidade, a retração excessiva da argamassa e, sobretudo, o aparecimento de tensões cíclicas decorrentes do efeito térmico que pode levar o sistema de revestimento cerâmico à ruptura por fadiga (GASPAR, 2009).

Dentre as principais anomalias verificadas em sistemas de revestimento cerâmicos de fachadas, a ocorrência de deslocamentos de placas cerâmicas é a mais preocupante, uma vez que, coloca em perigo a segurança dos moradores e transeuntes, representando risco de morte, além dos aspectos estéticos e do comprometimento da habitabilidade (BRITO e SILVESTRE, 2009).

A recuperação da área atingida, em grande parte, requer a remoção total do revestimento da fachada; é trabalhosa, pois exige cuidados especiais para que não se destrua a base e, além disso, é bastante onerosa (BAUER *et al.*, 2010).

2.4.3 Fissuras e Trincas

As fissuras (Figura 2.16) em edificações são manifestações patológicas decorrentes dos mecanismos de alívio de tensões pelas alterações dimensionais, deslocamentos e variações de volume ao longo do período em serviço, podendo ser decorrentes de processos físico-mecânicos ou químicos (SILVESTRE, 2005; CARASEK, 2007).



Figura 2.16 – Fissuras em revestimento cerâmico (Silva, 2014).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) considera toleráveis as fissuras no corpo das fachadas desde que não sejam detectáveis a olho nu por um observador posicionado a 1,00 m da superfície do elemento em análise, sob iluminação natural em dia sem nebulosidade. A Tabela 2.10 apresenta as definições de fissura e trinca.

Tabela 2.10 – Características de fissuras e trincas pelas normas (adaptado ABNT NBR 9575:2003 e 15575-2:2013).

	Microfissura	Fissura	Trinca	Definição
ABNT NBR 9575:2003	$e \leq 0,05\text{mm}$	$e \leq 0,5\text{mm}$	$0,5\text{mm} \leq e \leq 1\text{mm}$	Abertura ocasionada por ruptura de um material ou componente.
ABNT NBR 15575-2:2013	-	$e \geq 0,6\text{mm}$	$e \geq 0,6\text{mm}$	Seccionamento na superfície ou em toda a seção transversal de um componente, com abertura capilar, provocado por tensões normais ou tangenciais.

As causas prováveis de fissuras e trincas são: recalque (acomodação do solo, da fundação ou do aterro); retração (fissuração da argamassa de revestimento ou de piso cimentado); movimentação (da estrutura de concreto, do madeiramento do telhado ou da laje mista); amarração (falta de amarração nos cantos de paredes ou no encontro da laje com as paredes, isto é, aperto inadequado); diversos (concentração de esforços, impacto de portas, etc.) (GASPAR, 2009).

Além de provocar desconforto psicológico para o usuário, as fissuras e trincas podem provocar a perda de estanqueidade da parede e consequente degradação com o passar do tempo. Essa perda de estanqueidade pode facilitar a infiltração de agentes agressivos que podem se tornar patológicos comprometendo o desempenho esperado do sistema e provocando sua deterioração (BAUER *et al.*, 2014).

2.4.4 Falhas nas juntas

Segundo Antunes (2010), os fatos que podem potencializar a deterioração das juntas de assentamento (Figura 2.17) são:

- impactos nas regiões de encontro especialmente com as esquadrias;
- ação de intempéries (insolação, ação da água);
- fadiga do rejunte por ciclos higrotérmicos;
- envelhecimento, manifestado nas resinas de origem orgânica pela alteração da cor;
- especificação e/ou uso e aplicação errônea do rejunte que podem implicar em elevada porosidade superficial e baixa resistência mecânica;
- infiltração de produtos potencialmente agressivos e água.



Figura 2.17 – Falha na junta de assentamento da placa cerâmica (Autor, 2017).

O surgimento de aberturas entre as placas cerâmicas facilita a passagem de água, podendo comprometer o desempenho do rejunte, que deixa de cumprir suas funções (aliviar tensões e garantir estanqueidade do revestimento).

Para prevenir a ocorrência de falhas nas juntas faz-se necessário atender às características geométricas previstas em projeto, exercer controle durante a execução, escolher corretamente os materiais de preenchimento, além de cumprir as orientações e exigências das normas vigentes.

2.4.5 Falha na argamassa de rejuntamento

Segundo Bauer *et al.* (2006), a função do rejunte consiste na impermeabilização do revestimento, evitando a penetração de água para as camadas internas da fachada. O mesmo deteriora, principalmente, pela ação da insolação, bem como também pela ação da água em longo prazo. Em edifícios de maior idade é muito comum encontrar-se total ou parcialmente destacado, e, em alguns casos fissurado (Figura 2.18). Com a falha no rejunte, ocorre a penetração de água, ocasionando infiltrações, sujidades e eflorescência.



Figura 2.18 – Deterioração da argamassa de rejunte (Autor, 2017).

2.4.6 Anomalias estéticas

Nos revestimentos cerâmicos, existem inúmeras anomalias estéticas entre as quais: eflorescências, manchas, alteração da cor ou desbotamento, deterioração dos componentes de base orgânica e degradação biológica (ZANONI, 2015).

Eflorescências em revestimentos são depósitos salinos esbranquiçados que ocorrem na superfície dos elementos da fachada, decorrente da lixiviação causada pela infiltração ou presença de água (localmente) nos materiais componentes da fachada (argamassas, blocos cerâmicos) sendo que essa água, oriunda da chuva ou da conformação dos materiais, dissolve

os componentes solúveis dos materiais. A água, ao chegar à superfície externa, evapora e deposita os componentes na superfície, provocando manchas (BAUER *et al.*, 2010 ; ZANONI, 2015).

Portanto, a eflorescência é uma manifestação patológica que sinaliza a presença de água na fachada, tornando-se um indicador importante para detectar umidade. Mesmo que as eflorescências não sejam, em geral, suficientes para desencadear um processo de deterioração do material, as manchas afetam a percepção do usuário e a estética do edifício, desvalorizando o bem imóvel (Figura 2.19).



Figura 2.19 – Local na fachada com eflorescência (Autor, 2017).

2.4.7 Deterioração das placas cerâmicas – gretamento

O gretamento é identificado por pequenas fissuras, semelhantes a um fio de cabelo, na superfície esmaltada do elemento cerâmico. Essas fissuras apresentam formato circular, em espiral ou em forma de aranha (Figura 2.20). Essa patologia pode ocorrer já na fase de fabricação, bem como pode surgir com o tempo em uso da cerâmica (ANTUNES, 2010).



Figura 2.20 – Placa cerâmica gretada (Autor, 2017).

Para Campante (2011), quando o gretamento ocorre durante o uso da placa cerâmica, ou seja, após a sua aplicação, o mesmo está associado à dilatação sofrida pela base da placa cerâmica devido à expansão por umidade e/ou retração das argamassas de emboço ou fixação com alto teor de cimento, ocasionando tensões induzidas nas placas cerâmicas que podem romper a camada de material vítreo do esmalte. O reparo deste tipo de manifestação patológica só pode ser feito através da substituição do revestimento cerâmico danificado.

2.5 ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DE DESCOLAMENTO/ DESPLACAMENTO EM RCF

A dificuldade na avaliação e quantificação de anomalias em fachadas reside, dentre outros aspectos, na dificuldade de inspeção, principalmente, em edifícios de grande altura. A definição do diagnóstico, das condutas a adotar, bem como a avaliação dos custos pertinentes, são etapas subsequentes ao levantamento de campo, sendo as mesmas fortemente dependentes da precisão e objetividade conseguidas na etapa de investigação das anomalias. Um diagnóstico seguro depende de informações precisas e que avaliem corretamente os mecanismos e variáveis que influenciam na degradação e no desenvolvimento das manifestações patológicas (BAUER *et al*, 2014).

A inspeção de fachadas, particularmente dos sistemas de revestimento, é uma atividade com logística complexa. A elevada altura dos edifícios, as difíceis condições de acesso, a necessidade de efetuar avaliações com os edifícios em utilização, são alguns pontos que

evidenciam como pode se tornar complexa a obtenção dos dados em um levantamento de manifestações patológicas.

No caso das fachadas revestidas por elementos cerâmicos, a manifestação patológica que apresenta maior gravidade no sistema é o deslocamento. Essa anomalia pode afetar a aparência da fachada, facilitar a penetração de água da chuva e, conseqüentemente, reduz a durabilidade do sistema e da própria fachada (FREITAS *et al.*, 2014),

2.5.1 Teste de percussão

Os revestimentos de paredes devem garantir uma adequada aderência ao suporte durante o seu tempo de vida útil. A falta de aderência conduz a deslocamentos, que poderão ser agravados pela ação dos agentes de degradação e originar situações de perigo para os utentes ou transeuntes (por exemplo, queda de placas cerâmicas) (BRITO *et al.*, 2007).

O teste consiste em uma análise preliminar pela qual se inicia os trabalhos com uma inspeção visual, por meio de descidas com balancins individuais tipo “cadeirinha”, desde a cobertura até o pavimento térreo, de forma a abranger toda a área da fachada, e submete-se a região em análise a batidas utilizando um martelo de fibra ou ferramenta similar (Figura 2.9), possibilitando mapear as áreas que apresentam um som cavo, portanto, com prováveis problemas de aderência

A finalidade deste ensaio é avaliar falhas na aderência do sistema (base/ revestimento) e se tais falhas são na interface da argamassa colante, no emboço ou na base. É uma avaliação qualitativa, sendo por isso, também necessário realizar o teste de resistência de aderência à tração (GALLETTO e ANDRELLO, 2013).



Figura 2.9 – Teste de percussão com uso de martelo (Autor, 2017)

2.5.2 Teste de resistência de aderência à tração (ensaio de arrancamento)

A NBR 13749 (ABNT, 2013) estabelece limites de resistência de aderência do sistema de revestimento com relação à base (Tabela 2.9).

Tabela 2.9 – Limites da resistência de aderência à tração (Ra) para argamassa de emboço (adaptado – ABNT NBR 13749:2013).

Local	Acabamento		Ra (MPa)
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,20$
		Cerâmica ou laminado	$\geq 0,30$
	Externa	Pintura ou base para reboco	$\geq 0,30$
		Cerâmica	$\geq 0,30$
Teto			$\geq 0,20$

A avaliação “*in situ*” da aderência em revestimentos deve ser realizada periodicamente, durante as condições em serviço (Figura 2.10), permitindo detectar problemas de descolamentos e deslocamentos (BRITO e SILVESTRE, 2009).



Figura 2.10 – Ensaio de arrancamento (Galletto e Andrello, 2013).

De acordo com Brito *et al.* (2007), o ensaio de arrancamento é uma técnica muito utilizada na avaliação *in situ* da aderência de revestimentos e apresenta várias vantagens como:

- Permite obter informação sobre uma característica de desempenho (aderência) e sobre a sua perda em condições em serviço;
- Não necessita de fonte de energia *in situ*;
- Os resultados são confiáveis;
- Não necessita de trabalho em laboratório.

No entanto, apresenta algumas desvantagens, tais como:

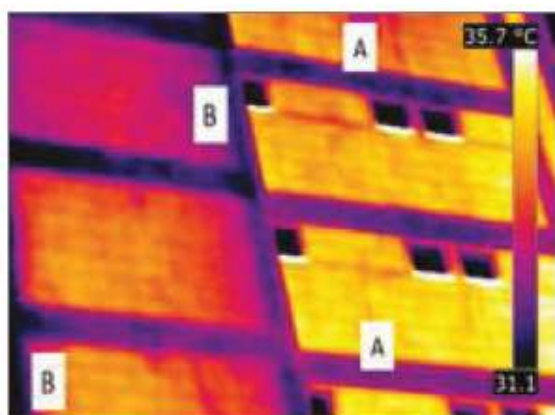
- A realização do ensaio não é contínua (existe uma primeira fase de preparação e colagem das pastilhas, uma segunda de realização do ensaio e uma terceira de reparação dos locais ensaiados);
- A duração do ensaio varia de 1 a 2 dias, dependendo do tempo de secagem da cola utilizada na colagem das pastilhas metálicas;
- É uma técnica destrutiva que afeta a integridade do revestimento, pelo que necessita sempre de trabalhos de reparação;
- Recomenda-se pelo menos duas pessoas na realização da técnica (tendo um dos técnicos alguma formação específica);
- Necessita de meios de acesso aos locais de ensaio (escada, plataforma suspensa, entre outros).

2.5.3 Análise termográfica

A análise termográfica de infravermelho é utilizada na construção civil com diferentes finalidades. Algumas das áreas onde mais se destaca o emprego desta técnica são os estudos de eficiência energética em edificações, de desempenho e conforto térmico, e de materiais, principalmente na detecção de anomalias e manifestações patológicas em edificações (BAUER *et al.*, 2015).

É uma técnica não destrutiva empregada na detecção de defeitos nas fachadas das edificações e, como técnica de inspeção, possui várias vantagens, a saber: é uma forma de análise que pode ser feita a significativas distâncias, não causa danos a superfície e é muito rápida em seu processo de inspeção (BARREIRA *et al.*, 2014).

Com a inspeção termográfica é possível localizar elementos estruturais (Figura 2.11), observar e delimitar fissuras (Figura 2.12) e regiões de umidade, identificar heterogeneidades superficiais, dentre outras aplicações (BAUER e PAVÓN, 2015).



a) Termograma evidenciando as diferentes temperaturas e os elementos



b) Fotografia digital da região inspecionada

Figura 2.11 – Identificação dos elementos estruturais de concreto com análise termográfica infravermelha (Bauer e Pavón, 2015).

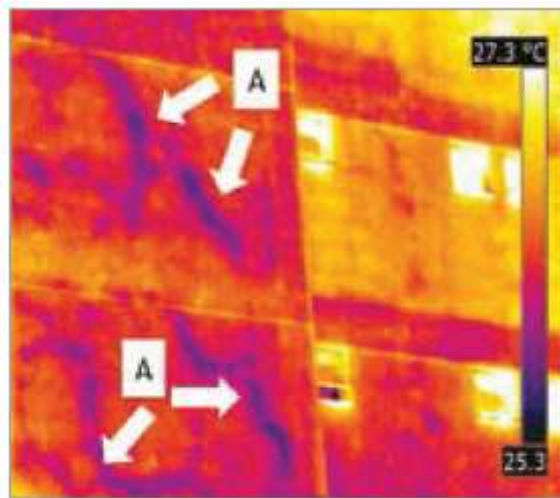


Figura 2.12 – Identificação e mapeamento de fissuras em fachadas com revestimento em argamassa e pintura (Bauer e Pavón, 2015).

Segundo Bauer e Pavón (2014), o conjunto de informações fornecidas por esta abordagem pode auxiliar na inspeção de edifícios e no diagnóstico e mapeamento de patológicas, a partir da mensuração e identificação das diferenças de temperatura observadas na superfície dos elementos e componentes do edifício. A Figura 2.13 mostra como é possível detectar na imagem térmica de uma fachada com revestimento de placas cerâmicas, a presença de descolamento (Fig 2.13-a) (D), não visíveis na inspeção visual (Fig 2.13-b).

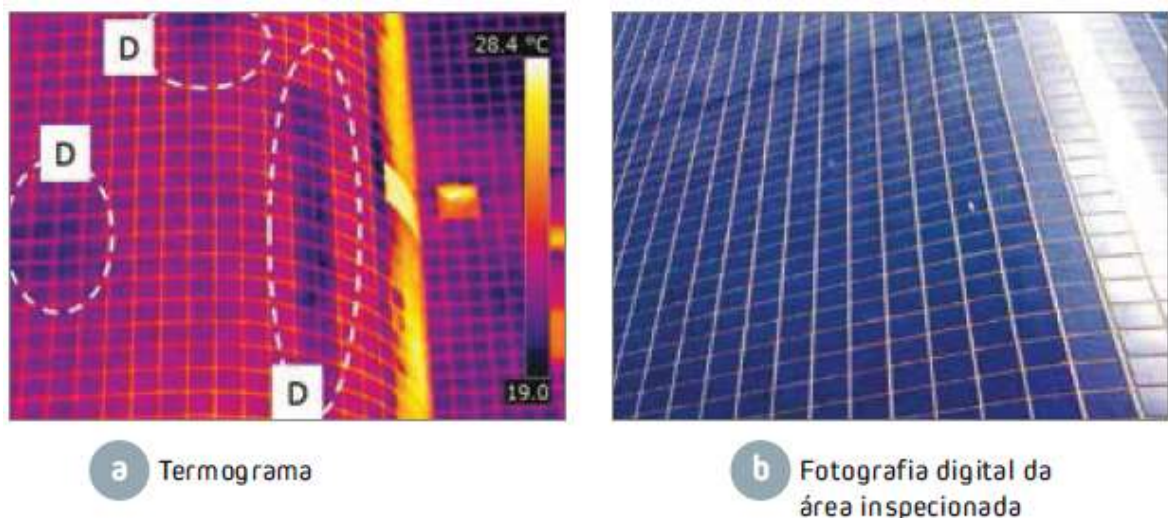


Figura 2.13 – Detecção de descolamento em uma fachada com revestimento cerâmico com termografia infravermelha (Bauer e Pavón, 2015).

Para Barreira e Freitas (2017), os defeitos são identificados por diferenças na temperatura da superfície entre áreas com e sem descolamento. O descolamento cria uma camada de ar e resistência térmica aos fluxos de calor, o que permite avaliar o diferencial de temperatura. Esta

superfície de variação de temperatura muda ao longo do dia.

Esta técnica, com base na análise do campo de temperaturas, permite identificar anomalias internas aos materiais (defeitos), porque a presença de defeitos causa uma resistência térmica, influenciando o transporte de calor no material, que pode ser detectada na superfície (BAUER *et al.*, 2014).

De acordo com Barreira *et al.* (2014), existem dois tipos de parâmetros que podem influenciar os resultados: um relacionado às propriedades dos materiais e condições ambientais, e o outro às características da câmera. Dentre os parâmetros identificados:

- a emissividade é uma propriedade superficial altamente dependente do material, que define a capacidade do material para emitir energia;
- a cor da superfície pode esconder os defeitos, pois diferentes cores absorvem diferentes quantidades de radiação solar. Este efeito é particularmente relevante quando avalia-se fachadas com padrões de cores;
- as reflexões sobre superfícies metálicas ou placas esmaltadas podem distorcer a interpretação da imagem térmica;
- condições meteorológicas como temperatura do ar, precipitação, velocidade do vento, cobertura de nuvens e luz solar direta, podem afetar a transferência de energia e, conseqüentemente, os termogramas;
- a distância entre a câmera e o objeto pode atenuar radiação térmica para distâncias superiores a 10 metros;
- as características da câmera também afetam resultados: resolução, sensibilidade espectral, precisão e pixels;
- os procedimentos de calibração disponíveis na câmera também são importantes garantir medidas precisas.

A aplicação da termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas torna-se difícil e complexa pela grande quantidade de variáveis envolvidas no processo de inspeção e análise de resultados. As dificuldades e a não mensuração das principais variáveis levam a se cometer importantes erros, que podem conduzir a incorretas interpretações ou a diagnósticos equivocados (BARREIRA *et al.*, 2014).

Portanto, para poder realizar uma análise precisa de identificação de manifestações patológicas e determinar a sua gravidade nas fachadas, é preciso conhecer os parâmetros que influenciam os valores de temperatura dos termogramas e determinar de forma quantitativa o efeito que produz as variações dos mesmos.

3 METODOLOGIA

A metodologia do presente estudo consiste em definir e aplicar alguns índices de degradação, tais como Fator de Danos (FD) e Fator de Danos Combinados (FDC), a partir da quantificação das anomalias observadas nas fachadas de cinco edifícios localizados na Região Metropolitana de Belém/PA, com idades entre 10 e 30 anos. A partir da avaliação dos índices de degradação, é possível verificar a eficiência da metodologia apresentada para o estudo do comportamento da degradação de fachadas com revestimento cerâmico.

A Figura 3.1 mostra as etapas da metodologia desenvolvida no trabalho, que consiste no levantamento e tratamento dos dados, cálculo do Fator de Danos (FD) e Fator de Danos Combinado (FDC).

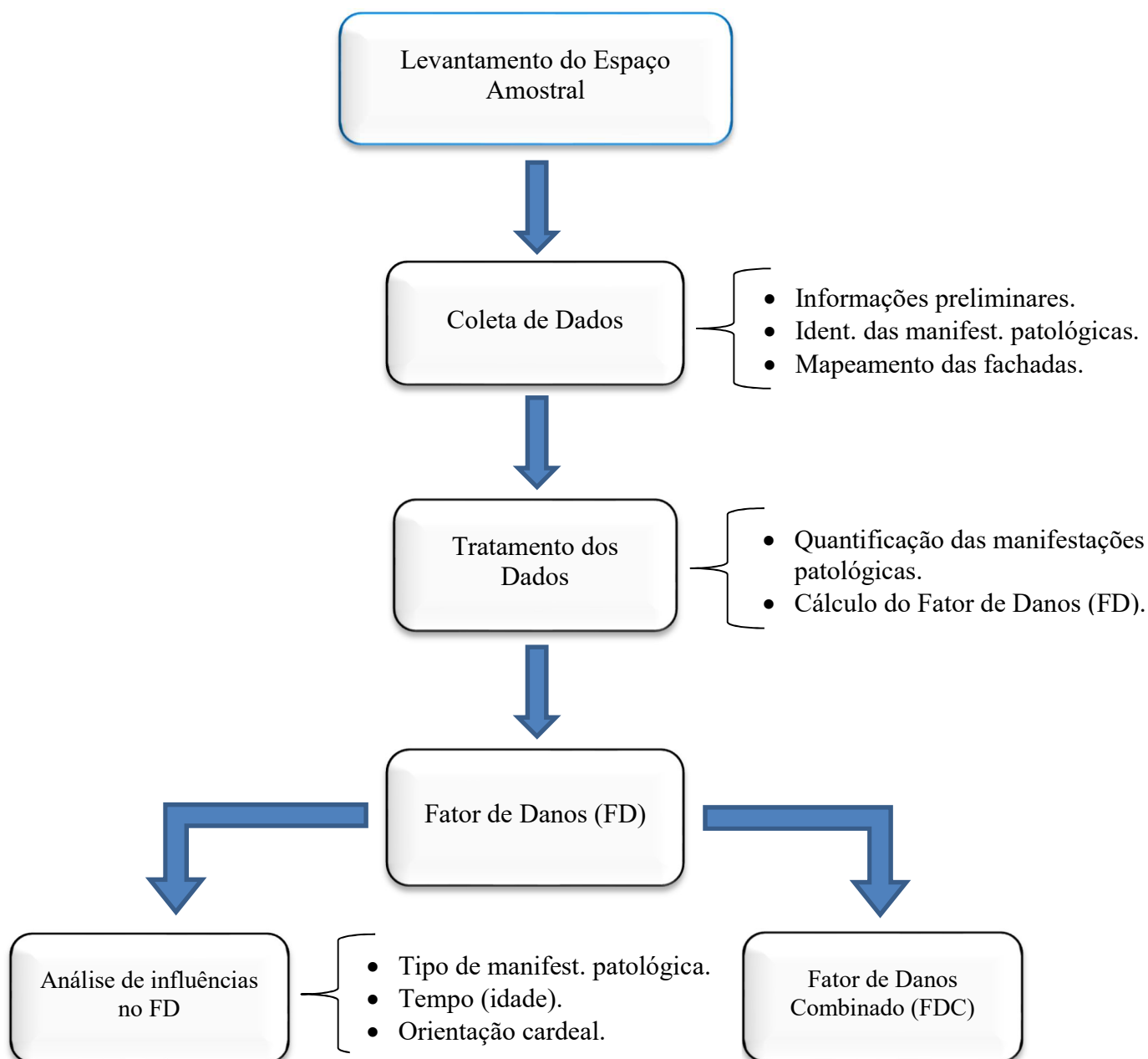


Figura 3.1 – Esquema da seqüência de procedimentos da metodologia adotada.

3.1 COLETA DE DADOS E CLASSIFICAÇÃO DAS FACHADAS

A fase inicial consiste no levantamento do máximo de informações preliminares de cada edifício, como as características arquitetônicas, a tipologia e orientação das fachadas, o nível de exposição a intempéries, o sistema estrutural (concreto armado, aço ou alvenaria estrutural), o sistema construtivo, especificações e projeto do sistema de revestimento de fachada, a idade do edifício, o tipo de uso e ainda a existência e frequência das manutenções e reparos.

Foram realizadas vistorias “*in loco*” para a realização de inspeções visuais detalhadas, com registro fotográfico amplo de todas as fachadas do edifício, identificando seus detalhes construtivos e as manifestações patológicas presentes em cada região da fachada. O levantamento fotográfico é muito importante na inspeção, funcionando como um banco de dados que serve de suporte para a fase de quantificação e levantamento de danos nas fachadas. A inspeção deve ser capaz de identificar falhas e danos visíveis existentes no sistema de revestimento da fachada, como os tipos de manifestações patológicas (descolamentos, manchas, eflorescências e fissuras) e em qual andar do edifício encontram-se.

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos com o auxílio de uma empresa especializada no ramo de “*retrofit*” prediais. Dado o volume de informações de inspeções serem consideráveis, optou-se por trabalhar com cinco edifícios, inspecionados com características construtivas semelhantes de maneira a minimizar as variáveis que possam interferir nos resultados e análises.

A Região Metropolitana de Belém (RMB), também conhecida como Grande Belém, reúne sete municípios do estado do Pará, são eles: Belém, Ananindeua, Marituba, Benevides, Santa Bárbara do Pará, Santa Izabel do Pará e Barcarena. Os edifícios analisados no estudo, em sua maioria, estão situados no município de Belém, apenas um se encontra em Ananindeua.

A Tabela 3.1 mostra a caracterização das amostras de fachadas para cada edifício em função da idade, da quantidade de pavimentos e quantidade de prumadas e empenas (Figura 3.2).

Tabela 3.1 – Características das amostras de edifícios com identificação por edifício, idade, quantidade de andar, prumada, empena e total de amostras por edifício.

Identif.	Localiz.	Idade (Anos)	Quantidade (Un)				Referência
			Andar	Prumada	Empena	Total	
ER-01	Belém	10	31	2	2	4	Autor, 2017
ER-02	Ananindeua	16	7	2	2	4	
ER-03	Belém	21	17	2	2	4	
ER-04	Belém	21	12	2	2	4	
ER-05	Belém	26	22	2	2	4	
Total						20	



Figura 3.2 – Identificação da prumada e empena em uma amostra de fachada.

A Figura 3.3 apresenta as fachadas frontais dos edifícios selecionados. A maioria dos edifícios é de uso residencial, com exceção da amostra ER-02, que é uma edificação de uso acadêmico. Todas as fachadas apresentam formatos similares, com duas fachadas principais (frontal e posterior) e duas fachadas laterais (direita e esquerda).

Apesar de apresentar a tipologia construtiva da fachada um pouco diferente das demais, optou-se por incluir a edificação ER-02 no estudo pelo fato de ser a mais completa em termos de documentação e projetos de fachada. Aliado a isso, a administração permitiu livre acesso para os ensaios, fotos e desenvolvimento completo do trabalho, enquanto que, devido as outras

edificações serem de uso residencial, as administrações exigiram certo sigilo na hora de coletar e divulgar os dados do trabalho.



Figura 3.3 – Identificação das fachadas dos edifícios utilizadas no estudo.

3.2 CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS NAS FACHADAS

Nesta etapa é elaborado um quadro geral das manifestações observadas em cada fachada, subdividido por andar do edifício. As inspeções visuais e os levantamentos fotográficos realizados em todas as fachadas auxiliam na visualização das manifestações patológicas.

As manifestações patológicas analisadas nas fachadas dos prédios do estudo foram:

- descolamento/ deslocamento de peças cerâmicas (DC);
- manchas no revestimento (MA);
- fissuração (FI);
- eflorescência (EF).

3.3 MAPEAMENTO DE DANOS NAS FACHADAS

Na fase de mapeamento são registrados os danos visíveis em um croqui obtido a partir de um desenho esquemático da área do edifício estudado, com o auxílio do software AutoCAD (2017). O mapeamento destaca as regiões que apresentam ocorrência de manifestações patológicas visando quantificar a incidência de danos e definir a gravidade dos mesmos. O método de mapeamento consiste em uma adaptação do estudo de Gaspar e Brito (2005), que tem por finalidade associar as manifestações patológicas com as regiões de incidência, aprimorada, posteriormente, por Brito e Silvestre (2008) e Antunes (2010) para revestimentos cerâmicos aderentes.

A versatilidade da metodologia consiste na possibilidade de aplicá-la em diferentes tipos de edifícios, distintos em altura, projeto arquitetônico e idade, por exemplo, e ainda assim, estabelecer comparações entre os mesmos. No estudo em questão, optou-se por selecionar edifícios com o mesmo tipo de sistema construtivo, estrutura de concreto armado e fechamentos em alvenarias de vedação em bloco cerâmicos, com idades distintas, porém inferior a 30 (trinta) anos, cujas fachadas são utilizados revestimentos cerâmicos aderentes.

O método de mensuração de danos consiste na identificação e obtenção dos danos nas fachadas, utilizando ferramentas auxiliares de inspeção (binóculos, câmera digital, trena laser e bússola), para registro fotográfico e posterior mapeamento das manifestações patológicas visíveis, por prumada ou empena do edifício. Cada prumada ou empena representa uma amostra de fachada, classificadas da seguinte maneira:

- Classificação por idade;
- Classificação por orientação da fachada;
- Divisão por andar da fachada.
- Sobreposição por uma malha para a contagem das anomalias;

Para a classificação das fachadas por idade, fez-se uma inspeção documental e vistoria em campo para recolher informações pertinentes à data da inauguração do edifício. Já as orientações foram obtidas por intermédio do *Google Maps* e com o auxílio de uma bússola. A Figura 3.4 mostra a localização e o detalhe com a aproximação da imagem da amostra ER-02.



Figura 3.4 – Imagem com localização e detalhe da amostra ER-02.

Após a localização da área do edifício e com o auxílio do software AutoCAD (2017), agruparam-se as fachadas em quatro quadrantes que definiram as faixas de orientação, delimitadas pelos azimutes (Figura 3.5).

- ✓ Faixa de orientação Norte compreendida entre os azimutes 315° e 44°;
- ✓ Faixa de orientação Leste compreendida entre os azimutes 45° e 134°;
- ✓ Faixa de orientação Sul compreendida entre os azimutes 135° e 224°;
- ✓ Faixa de orientação Oeste compreendida entre os azimutes 225° e 314°.

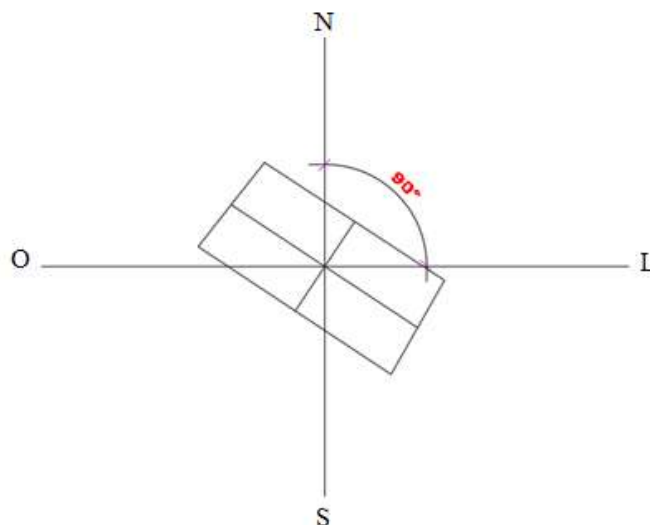


Figura 3.5 – Orientação da fachada ER-03.

O mapeamento das manifestações patológicas foi efetuado por intermédio de desenho representativo da fachada com detalhamento de todas as manifestações patológicas, com auxílio do software AutoCAD (2017). Após o mapeamento, as fachadas dos edifícios foram divididas para proceder a contagem dos danos por região de análise e para determinar a incidência de dano por metro quadrado da fachada. Para tanto, são sobrepostas malhas com área de 0,25 m² (0,50 m x 0,50 m) nas fachadas mapeadas (Figura 3.6) sendo cada malha a unidade básica de medida.

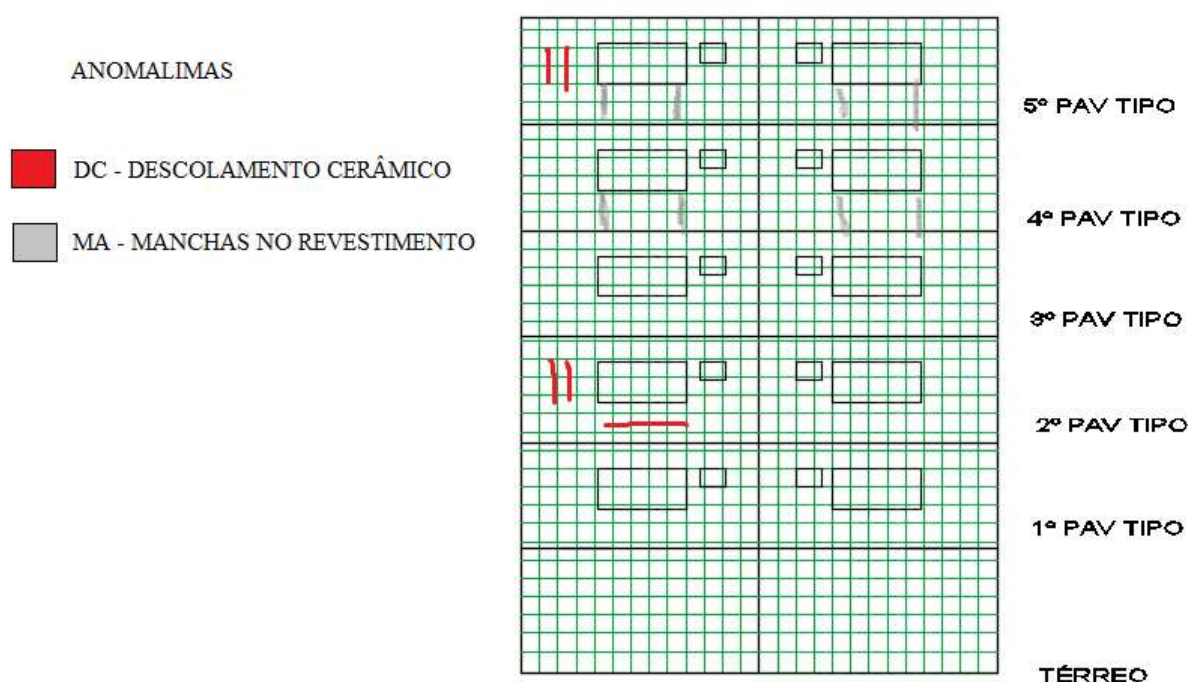


Figura 3.6 – Esquema ilustrativo do critério de sobreposição da malha.

A quantificação dos danos levantados foi registrada em fichas identificadas para cada edifício (Apêndice), especificadas por fachada inspecionada e considerando-se a devida orientação cardinal. Cada pavimento foi analisado por vez, limitado à região delimitada no intervalo entre as linhas divisórias que demarcam os andares. A área degradada de cada manifestação patológica foi estimada visualmente, com auxílio de binóculos, trena e experiência do profissional.

No método proposto por Silva (2014), as amostras de fachadas são tratadas de maneira sistematizada a partir de duas linhas de processo de quantificação preliminar de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas.

- Quantificação de manifestações patológicas;
- Cálculo do Fator de Danos (FD).

3.4 FATOR DE DANOS (FD)

O Fator de Danos (FD) é um índice que relaciona a extensão do dano (área da anomalia ou manifestação patológica) com a área total da fachada (Equação 3.1). Este fator é um parâmetro inicial de análise da degradação, tendo em vista que fachadas que apresentam maiores valores para este fator são aquelas em que se constata maior ação da degradação.

$$FD = \frac{A_d}{A_T} \times 100 \quad (3.1)$$

Onde,

FD – Fator de Dano da fachada (%);

A_d – Área de manifestação patológica observada na amostra de fachada (m²);

A_T – Área total da amostra de fachada (m²).

O FD da fachada permite estabelecer uma análise quantitativa inicial do estado de degradação de cada amostra de fachada através de uma distribuição bastante simples, cujas variáveis são somente a área de incidência de ocorrência do dano e a área total da amostra de fachada. Esse fator não considera, portanto, a interferência de mecanismos de degradação ou ponderação de variáveis (importância do tipo de dano ou custo de reparação). Entretanto, esta ferramenta é essencial, servindo como balizamento para análises mais complexas das manifestações patológicas em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas.

Antes de calcular o FD_{Total} de cada fachada é necessário estabelecer um valor de ponderação (fator de correção), pois todas as fachadas analisadas apresentam uma área diferente. Portanto, se faz necessário ponderar as diferentes áreas. Para tanto, divide-se a área total da fachada que apresenta a menor dimensão (ER-04/ F2 e F4) pela área da fachada analisada, de acordo com a Equação 3.2.

$$FC = \frac{A_{menor\ fachada}}{A_{fachada\ analisada}} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde,

FC – Fator de Correção (%);

$A_{menor\ fachada}$ – Área da fachada que apresenta menor área (m²);

$A_{fachada\ analisada}$ – Área da fachada analisada (m²).

O Apêndice apresenta os valores dos Fatores de Correção e Fatores de Danos encontrados para cada amostra de fachada do estudo. Com os resultados de FD_{Total} , obtidos a partir do banco de dados, analisou-se o comportamento da degradação em função do tipo de dano, da idade e da orientação cardinal. Posteriormente, foi realizada uma análise através do Fator de Danos Combinado (FDC), que atribui um peso de importância relativo ao custo de reparação de cada anomalia analisada.

O Fator de Danos (FD) foi determinado para cada tipo de manifestação patológica (descolamento, manchas, eflorescência e fissuras) e também para o total das ocorrências observadas em cada fachada (FD_{Total}):

- Fator de danos de descolamento cerâmico ($FD_{Médio - DC}$);
- Fator de danos de manchas no revestimento ($FD_{Médio - MA}$);
- Fator de danos de eflorescência ($FD_{Médio - EF}$);
- Fator de danos de fissuras ($FD_{Médio - FI}$);
- Fator de danos total (FD_{Total}).

A Distribuição de Danos (DD) apresenta, em termos percentuais, a distribuição em que ocorrem os danos, ou seja, é um dado que permite verificar o percentual representativo de cada anomalia da área total danificada. A Equação 3.3 descreve o cálculo do DD.

$$DD = \frac{Ad(n)}{\sum Ad(n)} \times 100 \quad (3.3)$$

Onde,

$A_{d(n)}$ – Área da anomalia (n);

Na análise dos resultados não são computados valores nulos (zero) de ocorrência de manifestações patológicas, tendo em vista que o critério proposto para as análises dos resultados neste estudo se baseia em analisar os casos em que as fachadas apresentaram algum dano nos levantamentos efetuados.

3.4.1. Análise da influência do tipo de dano na degradação das fachadas

No Apêndice são apresentados os valores de FD_{Total} e $FD_{Médio}$ para cada anomalia, referente a cada fachada. A Tabela 3.2 mostra as quantidades de amostras associadas aos fatores de danos para cada tipo de manifestação patológica, bem como a média, mediana, valor, idade e orientação máximos e mínimos. É apresentado uma caracterização dos resultados com a identificação dos índices de degradação associados às medidas de tendência básica que permitem estabelecer o comportamento do $FD_{Médio}$ de cada tipo de manifestação patológica (descolamento cerâmico, manchas, eflorescência e fissuras) e ainda da associação dessas manifestações através do FD_{Total} .

Tabela 3.2 – Tabela com os dados estatísticos dos Fatores de Danos das amostras de fachadas.

Tipo de FD	FD-DC	FD-MA	FD-EF	FD-FI	FD TOTAL
Qtde da Amostra	18	17	15	4	18
Média	45,84%	44,86%	21,78%	1,19%	7,40%
Mediana	39,87%	49,13%	15,63%	1,39%	5,06%
Valor Mínimo (VMI)	17,93%	5,50%	0,94%	0,45%	0,48%
Idade Mínima (IMI)	10	10	10	16	10
Orient. Mínima (OMI)	OESTE	SUL	OESTE	OESTE	LESTE
Valor Máximo (VMA)	89,13%	82,07%	49,22%	1,53%	32,51%
Idade Máxima (IMA)	26	26	26	16	26
Orient. Máxima (OMA)	SUL	NORTE	NORTE	LESTE	SUL

DC – Descolamento/ deslocamento cerâmico; MA – Manchas; EF – Eflorescência; FI – Fissuras.

A Figura 3.7 mostra os resultados de FD_{Total} nas suas tendências de frequência de ocorrência, independentemente de idade, assim permitindo uma visão geral da variação de um conjunto de dados.

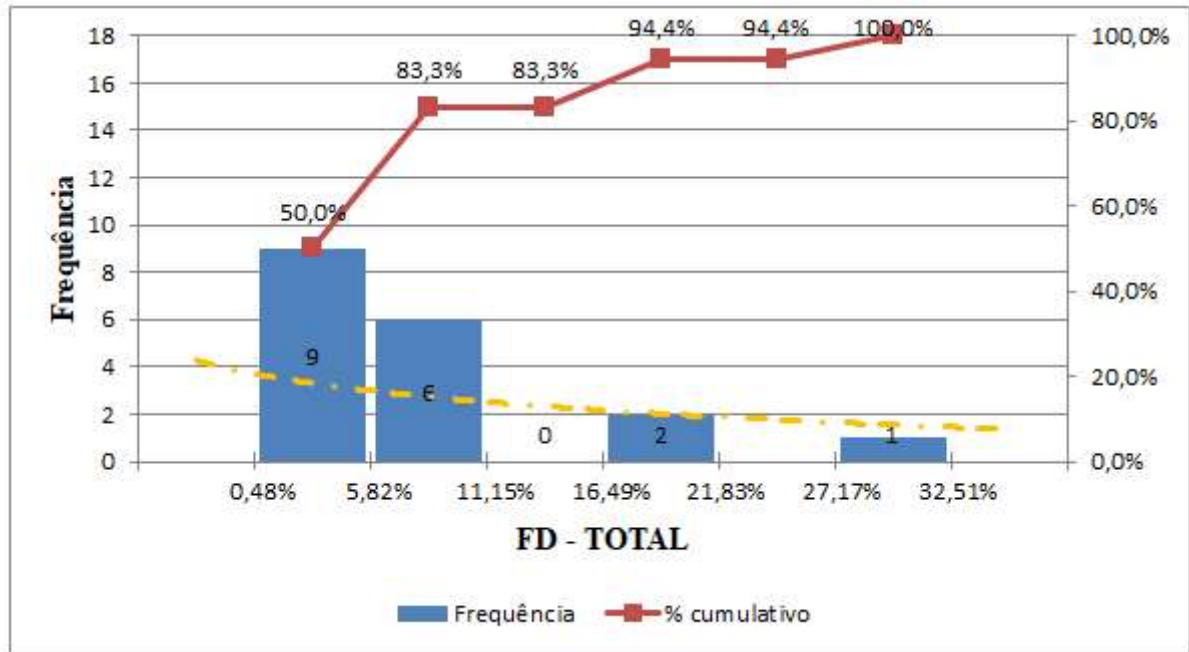


Figura 3.7 – Histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do FD_{Total} de todas as fachadas analisadas.

Na Figura 3.7 observa-se o histograma de frequência de ocorrência e porcentagem acumulada do FD_{Total} de 18 fachadas (2 fachadas do edifício ER-01 não apresentaram nenhum tipo de anomalia), sem considerar a idade ou orientação de cada fachada. As frequências de ocorrência foram divididas em seis classes, igualmente como foi realizado no estudo de Souza (2016). Para encontrar as classes, primeiramente, verifica-se a amplitude das amostras, que é encontrada através da diferença do maior valor de FD_{Total} pelo menor valor de FD_{Total} (diferente de zero). Posteriormente, divide-se o valor encontrado da amplitude pelo número de grupos (6 grupos), encontrando os intervalos.

Observa-se ainda que a maior frequência de ocorrência encontra-se na classe I (com valores de FD_{Total} que vão de 0,48% até 5,82%), seguida pela classe II (de 5,82% até 11,15%). É possível verificar, pela linha de porcentagem de frequência acumulada, que 83,3% dos registros de ocorrência dos FD_{Total} se encontram nas duas primeiras classes (9 registros na classe I, que vai de 0,48% até 5,82% e 6 registros na classe II, que vai de 5,82% até 11,15%). Nota-se também uma diminuição na frequência de ocorrência à medida que aumenta o valor de FD_{Total} .

Silva (2014) dividiu o espaço amostral em oito classes e apresentou um total de 90 fachadas com algum tipo de manifestação patológica observada, com maior frequência de ocorrência na

Classe I (42 registros) que variou o FD_{Total} de 1,0% até 12,4%, seguido da Classe II (14 registros), de 12,4% a 23,8%. As duas primeiras classes corresponderam a 62,2% do total de fachadas analisadas. Souza (2016) analisou 184 amostras de fachada divididas em seis classes, as Classes I e II (105 e 31 registros, respectivamente) corresponderam a 73,9% do espaço amostral. Igualmente como no presente estudo, nos dois trabalhos, as duas primeiras classes são responsáveis pela maior parte dos registros de ocorrência de danos nas fachadas analisadas.

Os resultados dos estudos também mostram que, à medida que os valores de FD_{Total} aumentam, diminuem-se o número de ocorrências. Tal tendência pode ser representada pela curva da Figura 3.8.

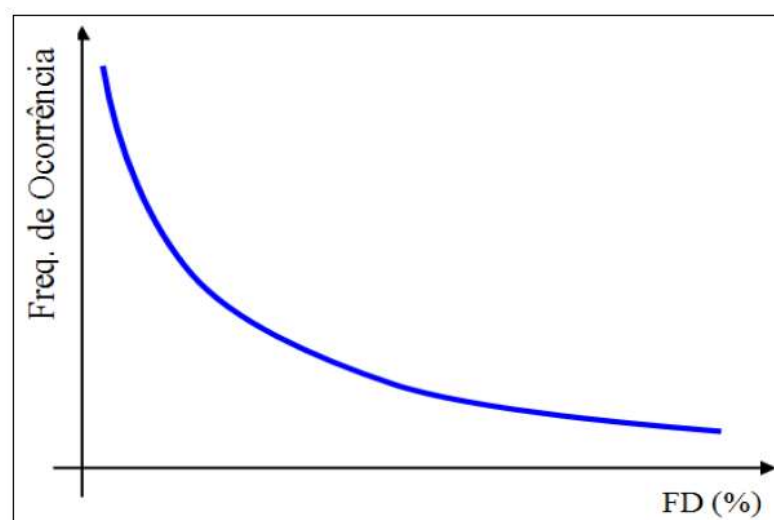


Figura 3.8 – Curva representativa do comportamento dos resultados dos FD_{Total} no histograma (Silva, 2014).

A Figura 3.9 mostra a quantidade, em percentual, que cada anomalia representa no espaço amostral de todas as fachadas analisadas, considerando apenas a área degradada, ou seja, a Distribuição de Danos (DD), sem considerar o Fator de Danos.

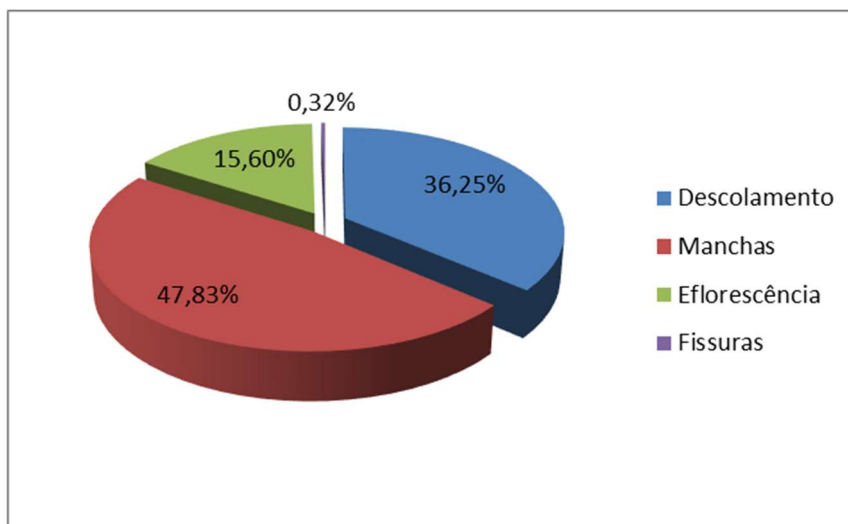


Figura 3.9 – Percentual de manifestações patológicas observadas nas fachadas analisadas.

Observa-se, na Figura 3.9, que a anomalia que apresentou maior frequência, ou seja, maior área degradada, considerando todas as fachadas, foi a patologia manchas no revestimento cerâmico (47,83%), seguida por descolamento cerâmico (36,25%). Tal resultado é previsível, uma vez que, essa manifestação patológica (manchamento) é observada já nos primeiros anos do prédio, com influência direta do clima da região, que apresenta muita umidade e constantes chuvas. Portanto, essa anomalia está mais associada aos agentes de degradação climatológicos e a falta de manutenção preventiva na fachada (lavagem).

Silva *et al.* (2017) analisou a incidência de seis tipos de manifestações patológicas (descolamento, deslocamento, manchas, eflorescência, fissuras e vegetação parasita) na Região Metropolitana de Belém, em 10 fachadas em revestimento cerâmico, com idades entre 7 e 40 anos, e constatou também que a anomalia com maior frequência de ocorrência foi o manchamento da cerâmica, com 74%. Já no estudo Silva *et al.* (2014), que aplicou a metodologia de quantificação de danos em Brasília, encontrou uma maior ocorrência da patologia descolamento cerâmico.

A Figura 3.10 mostra a porcentagem de $FD_{Médio}$ de cada manifestação patológica analisada, separando entre as fachadas com menos de 20 anos (ER-01 e ER-02) e as fachadas com mais de 20 anos (ER-03, ER-04 e ER-05).

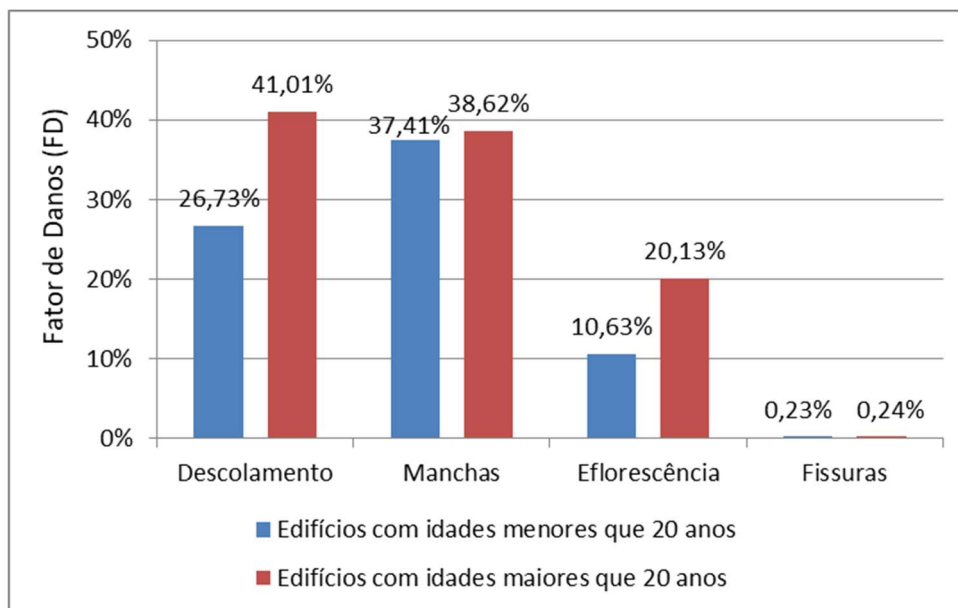


Figura 3.10 – $FD_{Médio}$ das manifestações patológicas analisadas, dividido entre fachadas com mais e menos de 20 anos.

Analisando a Figura 3.10, observa-se que a patologia manchas no revestimento cerâmico apresentou valores de $FD_{Médio}$ aproximados, tanto para as fachadas com menos de 20 anos, quanto para as com mais de 20 anos. Com esses dados, infere-se que essa anomalia surge nas primeiras idades das fachadas dos edifícios, visto que, as amostras mais novas (10 e 16 anos) já apresentavam valores consideráveis dessa anomalia. Conforme foi mencionado, tal patologia é diretamente influenciada pelo clima da região do estudo. A NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece a necessidade de realizar lavagens em fachadas com revestimento cerâmico a cada 5 anos, como forma de manutenção preventiva.

Observa-se também o alto valor de $FD_{Médio}$ (41,01%) para descolamento nos edifícios com mais de 20 anos, característico em fachadas com idades avançadas, uma vez que, a degradação é um processo evolutivo e essa patologia é a mais grave do SRC. Portanto, as outras anomalias se não forem tratadas irão progredir resultando no colapso do sistema e, conseqüentemente, na queda do revestimento.

Silva *et al.* (2014) dividiu as amostras de fachada em até 10 anos e mais de 10 anos e encontrou um aumento de 56,6% na manifestação patológica descolamento cerâmico, enquanto que o presente estudo apresentou um acréscimo de 65,18% em edifícios com mais de 20 anos, comprovando o processo evolutivo dessa patologia na degradação das fachadas.

3.4.2. Análise da influência do tempo na degradação das fachadas

Com base nos dados relativos à idade dos edifícios e a mensuração de danos das fachadas, foi possível verificar o comportamento da degradação ao longo do tempo (Figura 3.11). Os resultados mostram os Fatores de Danos (FD) que ocorrem em função da idade das amostras. Esses resultados permitem observar, de maneira global, considerando todos os tipos de manifestações patológicas, a influência que a idade promove no processo de degradação das fachadas. As amostras analisadas compreendem fachadas com idades entre 10 e 26 anos.

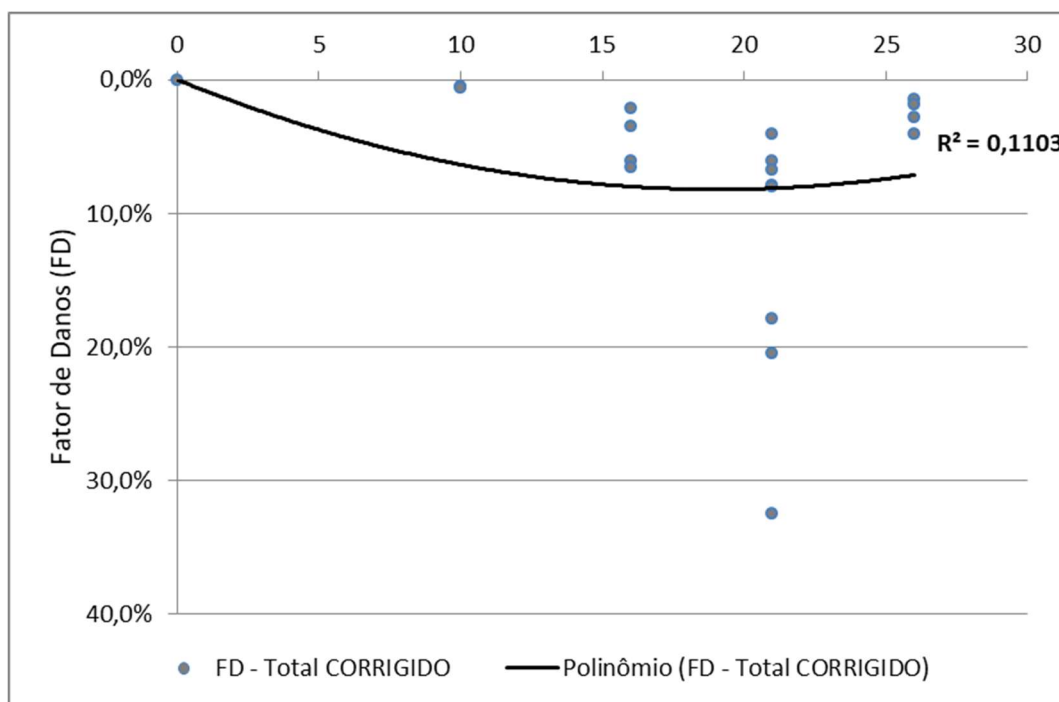


Figura 3.11 – Curva de degradação do FD_{Total} em função da idade, considerando todas as fachadas analisadas.

Observa-se, na Figura 3.11, o processo de degradação das fachadas, com baixos valores de FD_{Total} nas primeiras idades (10 anos), depois um aumento progressivo desse índice nas amostras de 16 e 21 anos, terminando em uma diminuição da curva nas últimas idades (26 anos). Silva *et al.* (2014) afirma que os danos apresentados em edifícios com idades jovens, se não tratados, podem evoluir para processos progressivos de degradação em idades mais avançadas.

A curva de degradação obtida a partir dos FD_{Total} das manifestações patológicas apresenta significativo aumento do índice em função da idade, influenciada, principalmente, pelos

resultados dos fatores de danos das fachadas de 16 e 21 anos (ER-02, ER-03 e ER-04). Entretanto, a curva não apresentou o formato convexo, como foi caracterizado por Silva *et al.* (2014), que analisou 90 fachadas com revestimento cerâmico, e Souza (2016) com 184 amostras. Nota-se que a linha de tendência decai nas últimas idades e não aumenta progressivamente, conforme mostra os periódicos.

Esse fato deve-se aos baixos valores de FD_{Total} encontrados nas fachadas com 26 anos (ER-05), quando comparados aos valores de FD_{Total} das fachadas com 21 anos (ER-03 e ER-04). A Figura 3.12 mostra a curva de degradação das fachadas até 21 anos, eliminando a amostra ER-05.

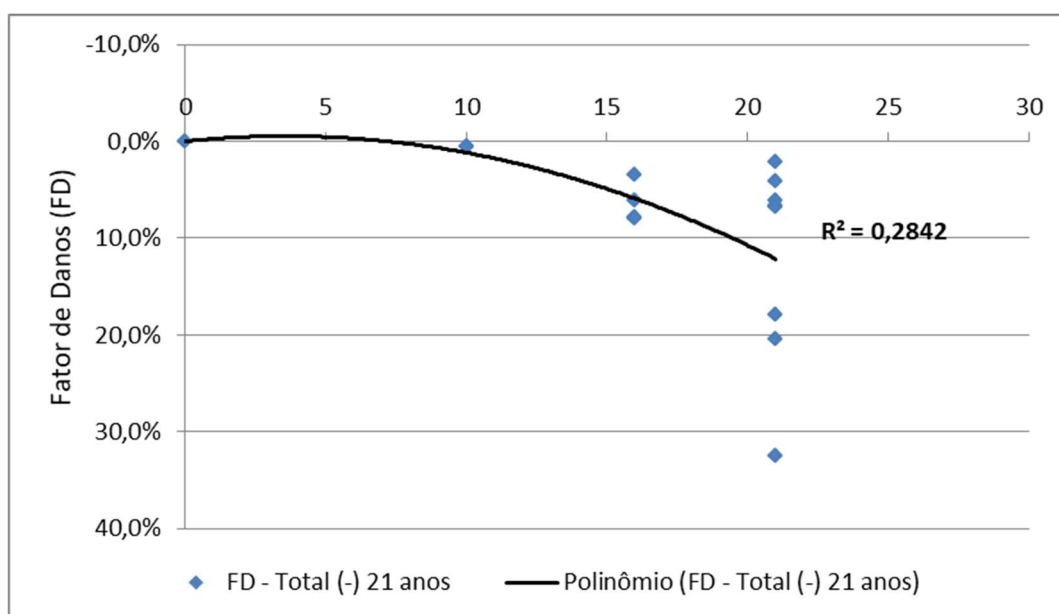


Figura 3.12 – Curva de degradação do FD_{Total} em função da idade, considerando as fachadas até 21 anos.

Observa-se, agora na Figura 3.12, o comportamento da degradação por uma curva convexa, cuja ação da degradação se inicia de forma lenta e, devido ao fato desse fenômeno ser cumulativo e progressivo, o processo é acelerado com o tempo, atingindo um limite crítico nas maiores idades. Analisando as duas curvas (Figuras 3.11 e 3.12), fica claro que a amostra ER-05 apresentou valores de FD_{Total} menores que os resultados das amostras ER-03 e ER-04, influenciando diretamente na orientação da curva de degradação.

A elevada dispersão dos resultados se deve à complexidade do estudo de degradação. O fato de dois edifícios apresentarem mão-de-obra diferenciada na construção, cor do revestimento

cerâmico diferente, orientações cardeais distintas, diferentes elementos de arquitetura e exposições diferenciadas aos agentes degradantes, esclarece, muitas vezes, a variação dos resultados dos índices de degradação (SILVA, 2014).

Portanto, pode-se dizer que esses fatores influenciaram diretamente as amostras de fachada acima de 20 anos (ER-03, ER-04 e ER-05), sendo a amostra de 26 anos (ER-05) a que apresentou menores valores de FD_{Total} , logo, com o menor coeficiente de degradação entre essas três amostras.

Vale ressaltar que nenhum dos edifícios analisados, com idades acima de 20 anos, possuía projeto de fachada, apresentando defeitos graves, como ausência de juntas de movimentação, tamanho da cerâmica ou cor inadequada do revestimento para o clima da região. Esses fatores afetaram diretamente os altos índices de degradação nessas fachadas.

3.4.3. Análise da influência da orientação cardinal na degradação das fachadas

A análise da influência da exposição aos agentes climáticos tais como, radiação solar e chuva dirigida, foi conduzida pela classificação da orientação cardinal das fachadas. Os resultados dos índices de degradação em função da orientação são efetuados em quatro orientações (Norte, Leste, Sul e Oeste) para o FD_{Total} das amostras, bem como para o $FD_{Médio}$ dos quatro tipos de manifestações patológicas analisadas.

A fim de investigar o comportamento da degradação ao longo do tempo para cada orientação, foi elaborado um gráfico radar considerando o FD_{Total} de todas as fachadas e o $FD_{Médio}$ para cada anomalia observada, apresentados nas Figura 3.13 e 3.14. Ressalta-se que esta análise não considera agora as faixas de idade, porém ainda tem como objetivo avaliar a influência das orientações ao longo do tempo.

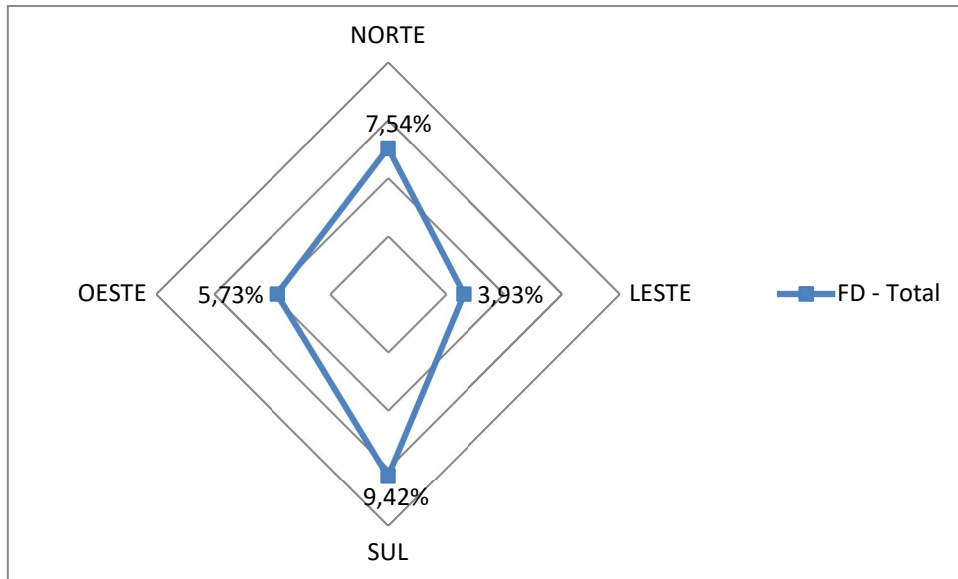


Figura 3.13 – Gráfico com os valores de FD_{Total} para cada orientação cardinal, considerando todas as fachadas.

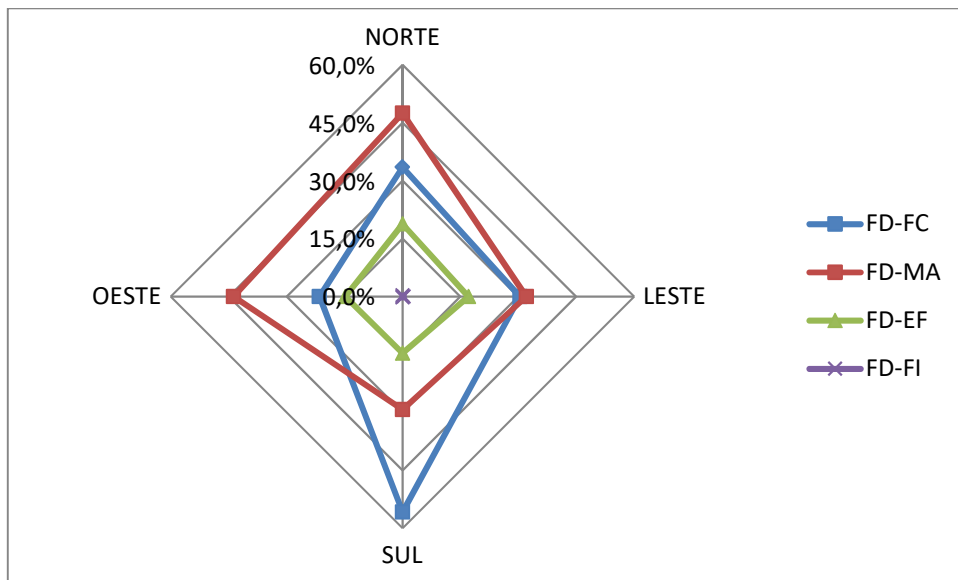


Figura 3.14 – Gráfico com os valores de $FD_{Médio}$ de cada anomalia, para cada orientação cardinal, considerando todas as fachadas.

Analisando os gráficos, observa-se que, em termos de valores médios, as orientações Sul ($FD_{Total-S}=9,42\%$) e Norte ($FD_{Total-N}=7,54\%$) apresentaram os maiores valores de FD_{Total} . Para o $FD_{Médio}$ associado ao tipo de patologia, observa-se que o descolamento cerâmico apresentou a maior intensidade também na orientação Sul ($FD_{Médio-S}=55,79\%$).

É possível observar, na Figura 3.14, que a manifestação patológica manchas no revestimento cerâmico (MA) apresentou valores elevados de $FD_{Médio}$ nas quatro orientações, quando

comparada com as demais manifestações patológicas (descolamento, eflorescência e fissuras), sendo que, nas orientações Norte (47,46%) e Oeste (43,73%) esses valores são mais expressivos.

A Figura 3.15 apresenta as curvas de degradação com os fatores de dano de cada amostra de fachada, em função da idade, para as quatro orientações analisadas.

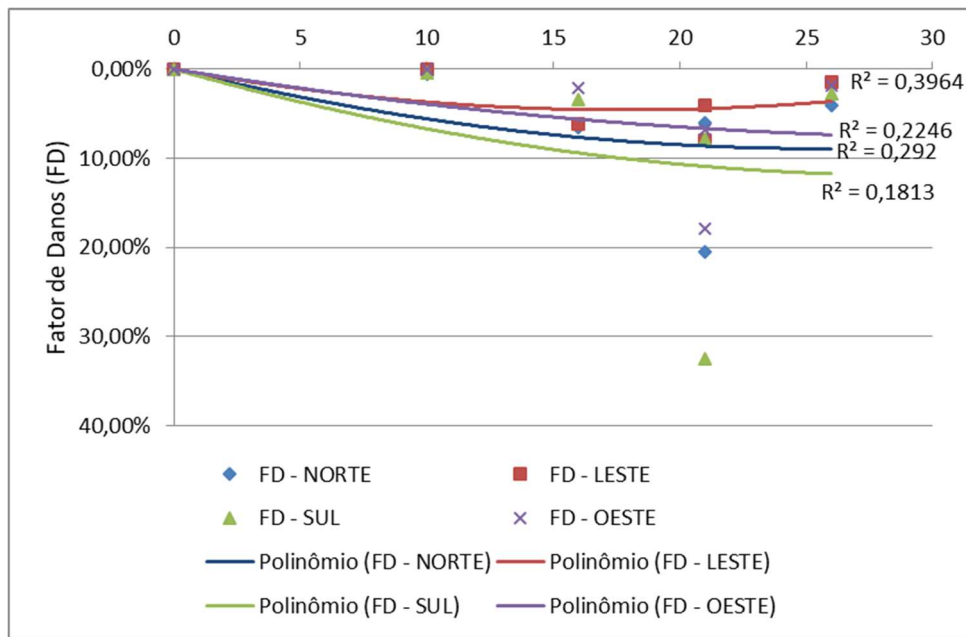


Figura 3.15 – Curvas de degradação do FD_{Total} , em função da idade, para cada orientação cardinal, considerando todas as amostras analisadas

Observa-se, na Figura 3.15, uma curva de degradação com maiores valores de FD_{Total} , na direção Sul, seguidamente pela orientação Norte. Verifica-se uma curva côncava, igualmente como no gráfico da Figura 3.11, influenciada pelos altos valores de FD_{Total} nas fachadas com 21 anos, em relação as fachadas com 26 anos, fazendo a linha de tendência diminuir em vez de ter um aumento progressivo.

O fato das fachadas orientadas a Sul apresentarem os maiores índices de degradação pode ser explicado por ser essas estarem diretamente opostas a chuva dirigida, que apresenta maior intensidade na direção Norte, conforme apresentou Max *et al.* (2017).

Segundo os autores, a estação que coleta dados para o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) na Região Metropolitana de Belém, apresentou a orientação Norte com o maior Índice

de Chuva Dirigida (ICD), portanto, sendo a direção predominante desse fenômeno. Portanto, com a chuva dirigida incidindo com mais severidade na direção Norte, as fachadas orientadas na direção oposta (Sul) são as mais afetadas por esse agente de degradação.

Os autores ressaltam ainda em seu estudo a dificuldade pela falta de acesso a dados horários confiáveis para uma análise mais refinada do fenômeno da chuva dirigida direcional, além do número limitado de estações meteorológicas na região, que permitiriam um melhor mapeamento das direções mais expostas a esse fenômeno.

O fato da orientação Sul não apresentar um valor de $FD_{Médio}$ tão elevado para manchas, em comparação com as outras duas orientações (Norte e Oeste), pode ser explicado pela ausência de área útil de revestimento cerâmico na fachada para ser contabilizado, visto que, o descolamento proporciona a queda da cerâmica. Portanto, como a orientação Sul apresentou o maior valor de $FD_{Médio}$ para descolamento cerâmico (55,79%), as outras manifestações patológicas ficaram com valores menores de $FD_{Médio}$ nessa orientação, dada a ausência de área útil de revestimento na fachada.

Tendo em vista os resultados apresentados dos $FD_{Médio}$ para as orientações, observa-se que as fachadas que apresentaram maior degradação foram as orientadas na direção Sul. Portanto, fica evidente a crítica influência da orientação e, conseqüentemente, da exposição à elevada radiação solar e chuva dirigida no surgimento das manifestações patológicas das amostras. De acordo com Silva (2014), a ação da temperatura, principalmente em relação aos gradientes térmicos diários impostos aos revestimentos, é uma das principais causas da degradação mecânica dos mesmos (fissuração e descolamento).

Silva (2014) encontrou uma maior degradação, em termos de valores médios, para as orientações Norte ($FD_{Total-N}=32,4\%$) e Oeste ($FD_{Total-O}=23,4\%$). A autora observou que a patologia descolamento cerâmico apresentou valores elevados de $FD_{Médio}$ nas quatro orientações quando comparado com as demais manifestações patológicas (falha de rejunte, fissuras, eflorescência e falha de vedação), sendo que, nas orientações Norte e Oeste os valores foram mais expressivos.

3.5 FATOR DE DANOS COMBINADO (FDC)

O Fator de Danos Combinado (FDC) atribui um peso de importância relativa ao Fator de Danos (FD), ou seja, pondera a extensão dos danos diretamente em relação ao custo de reparação das anomalias no processo de degradação (Equação 3.4), retratando, dessa forma, uma interpretação simples do estado de deterioração das fachadas.

O método busca verificar a influência do custo da reparação dos danos na evolução da degradação. Os valores dos fatores de ponderação custo ($k_{c,n}$) atribuído à cada tipo de manifestação patológica foram calculados por Silva (2014) através da composição de custo unitário para serviços de reparos em Brasília. Portanto, foi elaborada uma composição própria para o município de Belém (Tabela 3.3), uma vez que, o preço dos insumos varia entre regiões do país.

$$FDC = \sum_1^n (FD_n \times k_{c,n}) \quad (3.4)$$

Onde:

n = tipo de dano (descolamento cerâmico, manchas no revestimento, eflorescência e fissuras);

FD = Fator de Dano (Equação 3.1);

$K_{c,n}$ = custo relativo de reparo do dano (Apêndice);

A Tabela 3.3 mostra a planilha de composição de custo unitário para o reparo de uma superfície com descolamento/ deslocamento cerâmico. Baseou-se na composição do Sistema Nacional de Pesquisas de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI (2017).

Tabela 3.3 – Planilha orçamentária para recomposição de descolamento/ deslocamento cerâmico.

SINAPI - OUT/2017		
CÓD.	SERVIÇO LS(%) :120,84	\$/M²
84084	APICOAMENTO MANUAL DE SUPERFICIE	R\$ 5,99
87775	EMBOÇO	R\$ 39,09
87243	REVESTIMENTO CERÂMICO PARA PAREDES EXTERNAS EM PASTILHAS DE PORCELANA 5 X 5 CM (PLACAS DE 30 X 30 CM)	R\$ 124,95
73948/003	LIMPEZA	R\$ 5,31
	TOTAL PARCIAL	R\$ 175,34
	BDI(%) : 30,00	R\$ 227,94

Com a composição de custos, encontra-se o valor de ponderação relativo ao custo de reparo de cada anomalia (Tabela 3.4). O fato das manifestações patológicas descolamento/ deslocamento e fissuração serem as mais caras para serem reparadas faz com que seus valores de ponderação sejam mais altos. No Apêndice são apresentados os valores de FDC_{Total} e $FDC_{Médio}$ de todas as anomalias, considerando todas as fachadas analisadas.

Tabela 3.4 – Valores de ponderação relativo ao custo de reparo de cada anomalia.

	DC	MA	EF	FI
\$	R\$ 227,94	R\$ 6,90	R\$ 6,90	R\$ 227,94
Kcn	1,00	0,03	0,03	1,00

A Figura 3.16 mostra a distribuição, que cada anomalia representa no espaço amostral, já com a ponderação do custo de reparação ($K_{c,n}$), ou seja, o $FDC_{Médio}$ de cada patologia, considerando todas as fachadas.

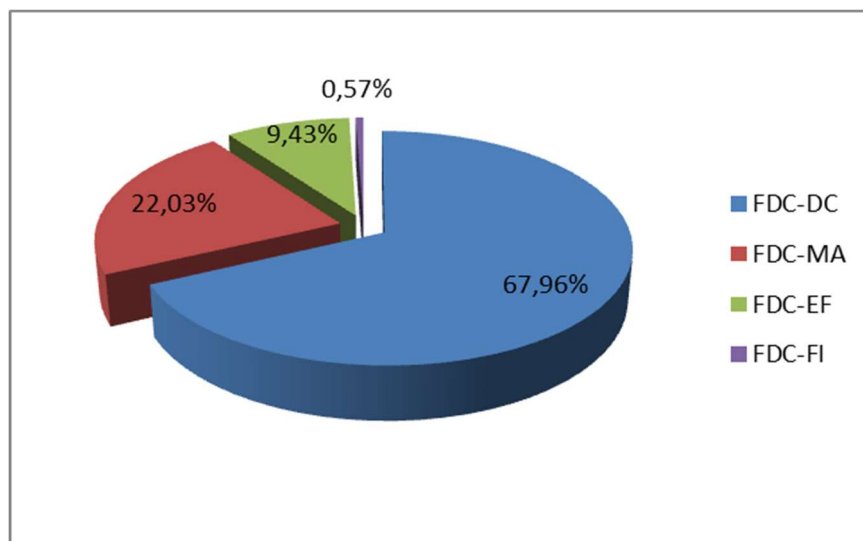


Figura 3.16 – Percentual de manifestações patológicas observadas nas fachadas, com o Fator de Danos Combinado (FDC) aplicado.

Analisando os resultados e a Figura 3.16, observa-se que, aplicando o método do Fator de Danos Combinado, a manifestação patológica que apresentou maior percentual de ocorrência foi o descolamento/ deslocamento cerâmico (67,96%). Houve um aumento expressivo nessa anomalia, uma vez que, seu custo de reparação é bem mais significativo que o reparo de manchas no revestimento.

A Figura 3.17 mostra a curva de degradação considerando o $FDC_{Médio}$ das anomalias de todas as fachadas.

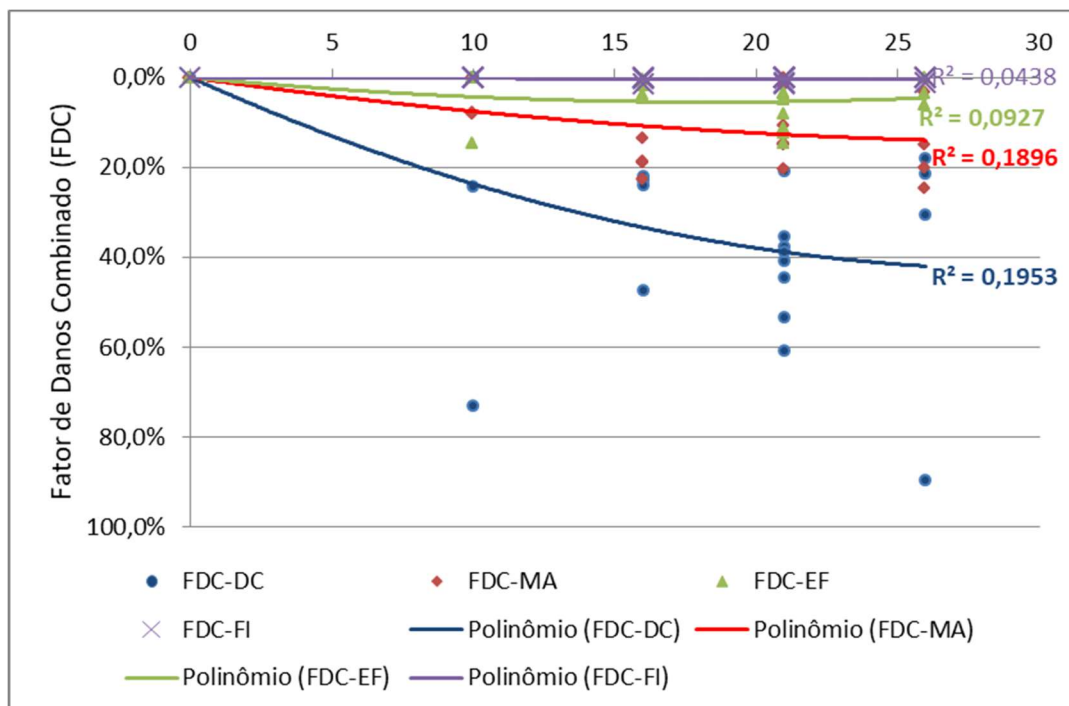


Figura 3.17 – Curva de degradação com o $FDC_{Médio}$ das anomalias encontradas nas fachadas.

Observando a Figura 3.17, verifica-se através da linha de tendência que a manifestação patológica descolamento/ deslocamento cerâmico apresentou o maior valor de $FDC_{Médio}$ entre os quatro tipos de anomalias analisadas. Também é possível inferir do gráfico que as fachadas com 21 anos (ER-03 e ER-04) apresentaram valores mais significativos de degradação para DC e, conseqüentemente, necessitarão de maiores custos no momento em que forem sofrer manutenções.

A Figura 3.18 apresenta o histograma com os resultados de frequência de ocorrência do FDC_{Total} de cada amostra de fachada.

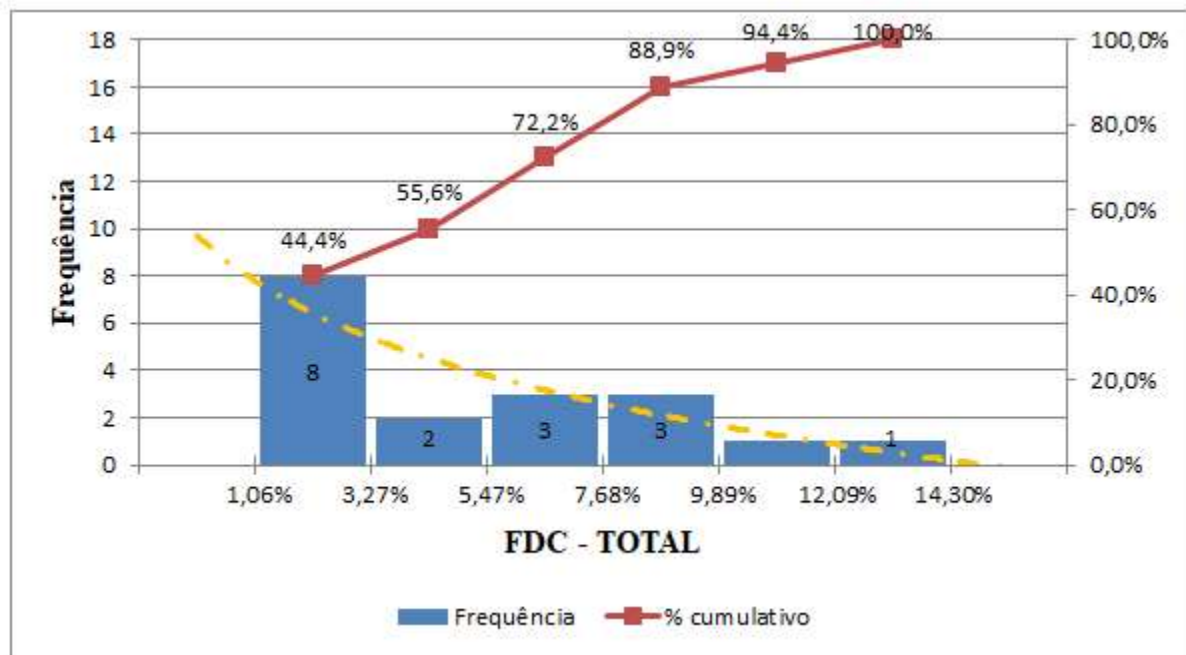


Figura 3.18 – Histograma com a distribuição dos valores de FDC_{Total} no total de amostras de fachada.

Observa-se que o maior número de incidências (8) ocorre para o grupo que possui o menor FDC_{Total} (1,06% até 3,27%), sendo que o número de ocorrências decai com o aumento do desse fator. Analisando a linha de frequência acumulada, verifica-se que os dois primeiros grupos correspondem a mais de 50% dos casos de anomalias mensuradas. Nota-se, novamente, uma curva característica que apresenta uma diminuição da frequência de ocorrência à medida que o valor FDC_{Total} aumenta.

Essa relação é muito importante no entendimento da distribuição quantitativa da ocorrência de anomalias. Assim, com base na tendência identificada no histograma, pode-se concluir que existe uma relação similar a exponencial entre grau de degradação e frequência de ocorrência da degradação.

Em Bauer *et al.* (2015), observou-se também um maior número de casos (42) na primeira classe e os dois primeiros grupos correspondem a mais da metade (62,2%) do total da frequência de ocorrência das anomalias, comprovando novamente o comportamento exponencial da linha de tendência.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados, é possível enumerar as seguintes conclusões principais.

- ✓ O Fator de Danos (FD) e o Fator de Danos Combinado (FDC) permitiram quantificar a degradação da fachada com base nos mapeamentos de anomalias. Essa é uma forma de análise quantitativa que permitiu mensurar a degradação.
- ✓ A maior frequência de ocorrência de danos (15 casos) encontra-se nos dois primeiros intervalos, correspondendo a 83,3% do espaço amostral.
- ✓ A manifestação patológica que apresentou maior frequência, ou seja, maior área degradada, foi a anomalia manchas no revestimento cerâmico (47,83%), seguida pelo descolamento/desplacamento (36,25%). Tais resultados podem ser atribuídos ao clima da região, que é extremamente agressivo para o SRC, com alto índice pluviométrico e de umidade relativa do ar, aliado ainda a falta de manutenção preventiva nas fachadas.
- ✓ Também foi possível analisar que os valores de $FD_{Médio}$ para a manifestação patológica manchas no revestimento (MA) variaram pouco entre as fachadas com menos de 20 anos e com mais de 20 anos. Esse fato não ocorreu nas outras manifestações. O descolamento/desplacamento (DC) e a eflorescência (EF) apresentaram aumentos expressivos de $FD_{Médio}$ nas fachadas com mais de 20 anos. Esses resultados podem ser associados ao fato da anomalia MA ocorrer já nas primeiras idades das fachadas, portanto, os edifícios mais jovens analisados (10 e 16 anos) já apresentavam valores significativos dessa manifestação patológica.
- ✓ Com base nos dados relativos à idade das amostras, foram observados maiores índices de degradação nas fachadas com 21 anos (ER-03 e ER-04), em relação às fachadas com 26 anos (ER-05), influenciando diretamente a curva de degradação. Esses resultados podem ser associados a grande dispersão dos valores de FD_{Total} . O fato dos edifícios apresentarem diferentes alturas, área de fachada, mão de obra construtiva, materiais utilizados, orientações cardiais, entre outros fatores, influencia diretamente a variação dos resultados.
- ✓ Analisando a influência da orientação cardinal na degradação das fachadas estudadas, concluiu-se que a direção Sul apresentou o maior índice de degradação, tanto para FD_{Total} (9,42%), quanto para $FD_{Médio}$ de descolamento (55,79%). Tais resultados podem ser relacionados a ação de agentes de degradação como a radiação solar e a chuva dirigida, que, conforme Max *et al.* (2017), afetam com mais intensidade as fachadas que se encontram orientadas a Sul na cidade de Belém.

- ✓ Aplicando o Fator de Danos Combinado (FDC), a patologia DC se tornou a anomalia com maior influência entre os tipos de manifestações patológicas analisadas. Tal patologia apresentou um $FDC_{Médio}$ de 39,22%, enquanto MA, apenas 12,71%. Tal mudança ocorreu devido ao peso de importância relativo atribuído ao custo de reparação de cada anomalia. Enquanto para reparar um descolamento cerâmico em uma fachada se gasta cerca de R\$227,94 por metro quadrado, para realizar uma lavagem na fachada se gasta, em média, R\$6,90 por metro quadrado.
- ✓ Analisando o histograma com a distribuição dos valores de FDC_{Total} de todas as fachadas, observou-se que o maior número de incidências (8 casos) ocorre no primeiro grupo, que apresenta o menor índice de degradação, que vai de 1,06% até 3,27%. Novamente, os dois primeiros grupos correspondem a mais da metade (55,6%) do espaço amostral.
- ✓ Através dos histogramas de FD_{Total} e FDC_{Total} , observou-se uma curva exponencial característica que apresenta uma diminuição na frequência de ocorrência à medida que aumenta o valor do índice de degradação, conforme como também foi observado em Silva (2014) e Souza (2016).

4.1 TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para pesquisas futuras, foram propostas as seguintes sugestões em relação à avaliação do fenômeno da degradação em fachadas:

- Ampliar o espaço amostral, diversificando a tipologia e a idade dos edifícios.
- Utilizar mais métodos de mapeamento de danos nas fachadas, como o ensaio de arrancamento e a termografia infravermelha, deixando os dados coletados mais precisos.
- Analisar a influência das regiões da fachada nos mecanismos de degradação.
- Aplicar o Fator Geral de Danos (FGD), que atribui peso relativo ao tipo de anomalia e custo de reparação.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674: Manutenção de edifícios. Procedimento. Rio de Janeiro, 2012.

_____. NBR 7200: Execução de revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Procedimento. Rio de Janeiro, 1998.

_____. NBR 12721: Avaliação de custos unitários de construção - Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. NBR 13531: Elaboração de projetos de edificações – atividades técnicas. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13532: Elaboração de projetos de edificações – arquitetura. Rio de Janeiro, 1995.

_____. NBR 13755: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 13816: Placas cerâmicas para revestimento - Terminologia. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações. Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos, 2011.

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

_____. NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações. Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, 2005.

_____. NBR 15575-1: Edifícios habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575-2: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575-4: Edifícios habitacionais - Desempenho - Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM – E 632-82: Standard Practice for Developing Accelerated Tests to aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials, Philadelphia, 1996

ANTUNES, G. R. Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília: sistematização da incidência de casos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília, 2010, 166 p.

BARREIRA, E.; DE FREITAS, V. P. Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and Building Materials*, v. 21, n. 1, p. 218–224, jan. 2007.

BAUER E, CASTRO E.K, PAVON E, OLIVEIRA A.H.S. Criteria for application and identification of anomalies on the facades of buildings with the use of passive infrared thermography. In: Freitas VP, editor. 1st Int. Symp. Build. Pathol., Porto, Portugal: 2015c, p. 12.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; ANTUNES, G. R. E LEAL, F. E. Identification and Quantification of Pathologies in Facades of New Buildings in Brasília, XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, Portugal, 2011.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B.. Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico: estudo de caso de edifícios de Brasília. *Cerâmica*, v. 61, p. 151-159, 2015.

BAUER, E.; DE SOUZA, JESSICA S. . Perfil da degradação para a envoltória dos edifícios: Estudo das regiões da fachada. In: XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas - CINPAR, 2016, Porto. Actas do XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas - CINPAR. Porto: FEUP, 2016. v. 1. p. 1-10.

BAUER, E.; SILVA, M. N. B. ; CASTRO, E. K. . Avaliação da degradação em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas de Brasília. In: I SIMPÓSIO DE ARGAMASSAS E SOLUÇÕES TÉRMICAS DE REVESTIMENTO, 2014, COIMBRA. ANAIS DO I SIMPÓSIO DE ARGAMASSAS E SOLUÇÕES TÉRMICAS DE REVESTIMENTO. Coimbra: ITeCons, 2014. p. 1-11.

BAUER, E.; FREITAS. V. P.; MUSTELIER, N.; BARREIRA, E.; FREITAS, S. Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility. *Structural Survey*, v. 31, n. 3, p. 181–193, 2015a.

BAUER E.; PAVÓN, E.; "Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios". *Concreto & Construções* 2015:93–98.

BAUER, E.; PAVON, E.; HILDENBERG, A. Erros na utilização de parâmetros termográficos da argamassa e da cerâmica na detecção de anomalias em revestimentos. XI Simpósio Brasileiro de tecnologia das Argamassas. Anais... Porto Alegre: SBTA, 2015b.

BAUER, E.; PAVÓN, E. ; OLIVEIRA, E.; PEREIRA, C. H. F. . Facades inspection with infrared thermography: cracks evaluation. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, v. 1, p. 2, 2016.

BAUER, E.; KRAUS, E. e ANTUNES, G. R. Patologias mais correntes nas fachadas de edifícios em Brasília, 3º. Congresso Português de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2010.

BAUER, E.; KRAUS, E. e ANTUNES, G. R. Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico, IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassa, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 2011.

BAUER, E.; KRAUS, E. e SILVA, M. N. B. Patologia e deterioração das fachadas de edifícios em Brasília – estudo da quantificação de danos, PATORREB, 4º Congreso de patología y rehabilitación de edificios, Santiago de Compostela, Espanha, 2012.

BORDALO, R.; BRITO, J. P.; GASPAR, L.; SILVA, A. Abordagem a um modelo de previsão da vida útil de revestimentos cerâmicos aderentes, Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, Portugal, 2010, n.16, pp. 55-69.

BORDALO, R.; BRITO, J.; GASPAR, P. L ; SILVA, A. Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems, *Building Research & Information*, 39, 1, 2011, 66-78.

BRITO, J.; FLORES-COLEN, I. A systematic approach for maintenance budgeting of buildings façades based on predictive and preventive strategies. *Construction and Building Materials* v. 24, p. 1718–1729, 2010.

BRITO, J.; FLORES-COLEN, I.; AMARO, B. SARAIVA, D. Inspection and diagnosis system of ETICS on walls. *Construction and Building Materials*, v. 47, p. 1257–1267, 2013.

BRITO, J.; SILVA, A.; SERRALHEIRO, M. I. Methodology for service life prediction of architectural concrete facades. *Construction and Building Materials*, v. 133, p. 261–274, 2017.

BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Ceramic tiling inspection system. . *Construction and Building Materials*, v. 23, p. 653–668, 2009.

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

CENTRO CERÂMICO DO BRASIL. Manual de assentamento de revestimentos cerâmicos – fachadas. CCB, 2009. Disponível em: < http://www.ccb.org.br/assentamento/manual_pinternas.pdf> Acesso em: 29 de maio de 2017.

COLEN, I.; BRITO, J.; FREITAS, V. – “Condition assessment of facade rendering though in situ testing”, 11th Int. Conference on Durability on Building Materials and Components, Istanbul, Turkey, May 2008, paper T71.

DE SOUZA, JESSICA S. ; BAUER, ELTON ; Nascimento, Matheus L. M. ; CAPUZZO, VALDIRENE M. S. ; ZANONI, VANDA A. G. . Study of damage distribution and intensity in regions of the facade. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, v. 1, p. 3, 2016.

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

FREITAS, S. S.; FREITAS, V.P. AND BARREIRA, E. Application of Infrared Thermography to Diagnosis of Façade Rendering Detachment, “A state of the art Report on Building Pathology – CIB W086”, CIB Edition (2013).

FREITAS, S. S., DE FREITAS, V. P., AND BARREIRA, E. Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique. *Construction and Building Materials*, v. 70, p. 80–87, 2014.

GASPAR, P. Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção. Aplicação a rebocos de edifícios correntes. Dissertação de Doutorado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. The Perception of Damage on Rendered Façades XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Porto, Portugal, 2011.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Durabilidade, estados limite e vida útil de rebocos em fachadas. APFAC, 2010.

GASPAR, P. L.; BRITO, J. Limit states and service life of cement renders on facades, *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 23, n. 10, 2011, pp. 1396-1404.

ISO/DIS 15686-1 - Buildings and constructed assets -- Service life planning-- Part 1: General principles and framework. Switzerland, International Organization for Standardization, 2011.

JUNGINGER, M.; MEDEIROS, J. S. Rejuntamento de revestimentos cerâmicos: influência das juntas de assentamento na estabilidade de painéis. Boletim Técnico: BT/PCC/372. São Paulo: EPUSP, 2003, 22p.

MANSUR, A. A. P. Mecanismos Físico-Químicos de Aderência na Interface Argamassa Modificada com Polímeros/Cerâmica de Revestimento. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MANSUR, A. A. P.; NASCIMENTO, O. L.; MANSUR, H. S. Data Collection of five years of exterior facade pathologies in Brazil. In: XIII World Congress on ceramic tile quality - QUALICER. Castellón, Espanha, 2006, p.109-124.

MAX, D. S. L.; QUEIROZ, L. C.; PAES, N. L. P.; CORDEIRO, L. N. P.; Influência da Fonte de Dados Meteorológicos no Índice de Chuva Dirigida: Estudo de Caso Belém – Pará. XII SBTA - Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. São Paulo, Brasil. 2017.

PAULO, P. V.; BRANCO, F.A.; BRITO, J. Quantification of Façade Defects Using Photogrammetry within the BuildingsLife System, 11DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components, Istanbul, Turquia, 2008.

PAULO, P. V.; BRANCO, F.A.; BRITO, J. Deterministic and stochastic prediction models for the buildings life platform. XII DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components. Porto, Portugal. 2011.

RIBEIRO, F. A.; BARROS, M. M. S. B. de. Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios. Boletim Técnico: BT/PCC/462. São Paulo: EPUSP, 2007, 25p.

RIBEIRO, F. A.; TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Influence of parge coat surfasse finish on the performance of façade tillings. In: VII World Congress on Ceramic Tile Quality – Qualicer 2004. Castellón – Spain. Qualicer 2004 Papers group II. Castellón: ITC, 2004. V. 1.

RODRIGUES, M. F. S.; CARDOSO, J. C. P.; TEIXEIRA, J. M. C. Buildings envelope anomalies: A visual survey methodology. Construction and Building Materials, v. 25, p. 2741–2750, 2011.

SILVA, A. F. F. S. Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Porto, Portugal, 2009.

SILVA, A; GASPAR P. L.; BRITO, J. Stochastic, deterministic, statistical and artificial intelligence based models to predict the service life of rendered facades, XIII International

Conference on Durability of Building Materials and Components, XIII DBMC, São Paulo, Brasil, 2014.

SILVA, M.N.B., Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao estudo de Brasília/DF. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2014.

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

SILVA, M. N. B. ; BAUER, E. Degradação de fachadas com revestimento cerâmico de edifícios de Brasília-DF. In: CBPAT 2016 - Congresso Brasileiro de patologia das Construções, 2016, Belém. Anais do CBPAT 2016 - Congresso Brasileiro de patologia das Construções. Belém: ALCONPAT, 2016. p. 853-864.

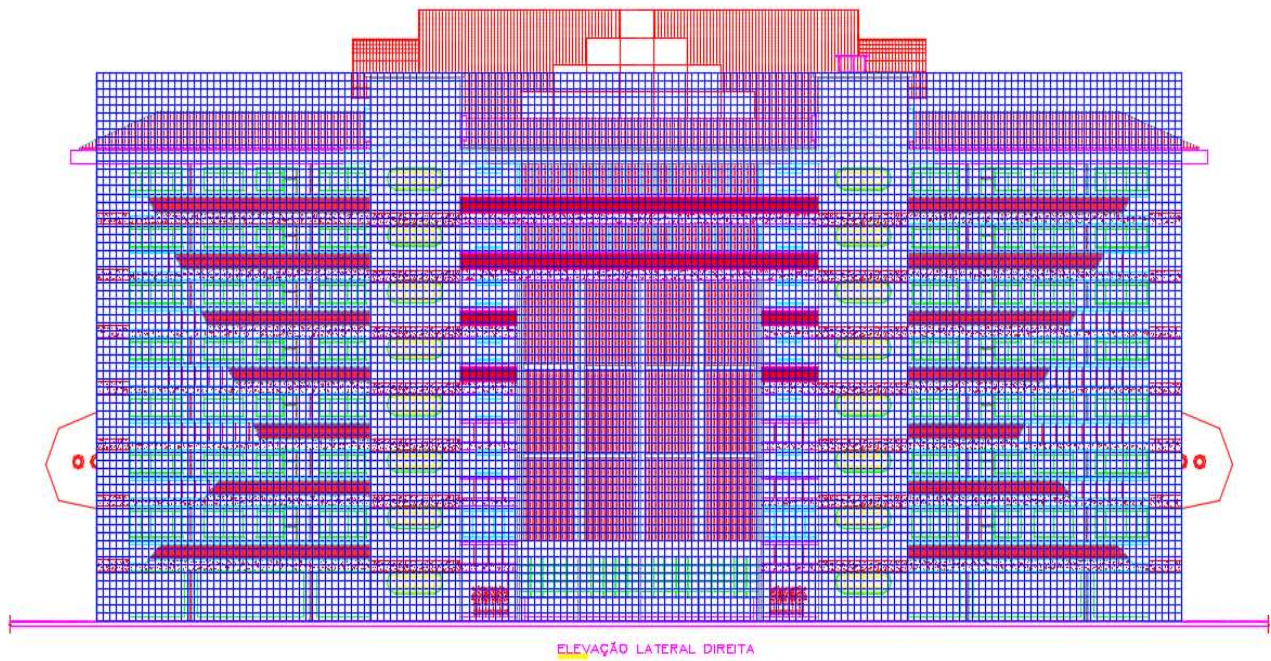
SILVA, T. S. M.; MEDEIROS, M. H. G.; CORDEIRO, L. N. P.; PAES, I. N. L. Degradação de fachadas em revestimento cerâmico – estudo de caso em Belém/ PA. In: CBPAT 2017 - Congresso Brasileiro de patologia das Construções, 2017, Asunción. Anais do CBPAT 2017 - Congresso Brasileiro de patologia das Construções. Asunción: ALCONPAT, 2017.

SILVESTRE, J. Sistema de Apoio à Inspeção e Diagnóstico de Anomalias em Revestimentos Cerâmicos Aderentes. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2005.

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

6 APÊNDICES

6.1 APÊNDICE A - DESENHO ESQUEMÁTICO DA FACHADA LATERAL DA AMOSTRA ER-02 COM SOBREPOSIÇÃO DA MALHA



6.2 APÊNDICE B – FICHA DE QUANTIFICAÇÃO DAS ANOMALIAS DA AMOSTRA ER-02

UNAMA - ER-02					
Andar	Elev. Principal		F1	SUL	Área Total (m²)
	Descolamento	Mancha	Eflorescência	Fissura	1105,00
7º	0	0	5	0	
6º	0	0	5	0	
5º	18	25	5	0	
4º	6	80	5	0	
3º	6	50	5	0	
2º	20	55	15	0	
1º	18	15	18	0	
Térreo	14	6	0	0	PONTOS
TOTAL	82	231	58	0	371
			ÁREA Patologias (m²)		92,75
				FD	8,39%
				FC	41,00%
				FD (TOTAL)	3,44%
		FD (Patologias)			
	22,10%	62,26%	15,63%	0,00%	

Andar	Elev. Lateral Direita		F2	LESTE	Área Total (m²)
	Descolamento	Mancha	Eflorescência	Fissura	1935,00
7º	16	203	8	0	
6º	40	285	8	0	
5º	55	258	0	0	
4º	19	176	0	0	
3º	59	204	0	0	
2º	124	230	0	0	
1º	54	150	0	0	
Térreo	98	20	3	9	PONTOS
TOTAL	465	1526	19	9	2019
			ÁREA Patologias (m²)		504,75
				FD	26,09%
				FC	23,41%
				FD (TOTAL)	6,11%
		FD (Patologias)			
	23,03%	75,58%	0,94%	0,45%	

Andar	Elev. Posterior		F3	NORTE	Área Total (m ²)
	Descolamento	Mancha	Eflorescência	Fissura	
7º	35	0	4	0	
6º	60	0	6	0	
5º	55	50	6	0	
4º	40	50	6	0	
3º	40	50	6	0	
2º	35	60	6	0	
1º	50	83	6	0	
Térreo	20	26	4	10	PONTOS
TOTAL	335	319	44	10	708
	83,75	79,75	11	2,5	
			ÁREA Patologias (m²)		177
				FD	16,02%
				FC	41,00%
				FD (TOTAL)	6,57%
	FD (Patologias)				
	47,32%	45,06%	6,21%	1,41%	

Andar	Elev. Lateral Esquerda		F4	OESTE	Área Total (m ²)
	Descolamento	Mancha	Eflorescência	Fissura	
7º	3	37	0	0	
6º	6	37	0	0	
5º	0	37	9	0	
4º	30	40	9	0	
3º	21	41	9	0	
2º	63	83	18	0	
1º	40	162	42	0	
Térreo	6	6	5	0	PONTOS
TOTAL	169	443	92	0	704
	42,25	110,75	23	0	
			ÁREA Patologias (m²)		176
				FD	9,10%
				FC	23,41%
				FD (TOTAL)	2,13%
	FD (Patologias)				
	24,01%	62,93%	13,07%	0,00%	

6.3 APÊNDICE C – RESULTADO DOS FATORES DE DANOS PARA ANÁLISE ESTATÍSTICA

C.1 – Tabela com o Fator de Correção (FC) e Fator de Danos (FD) encontrados para cada fachada analisada.

Amostra	Fachada	Área (m²)	Fator de Correção (FC)	Fator de Danos (FD)
ER-01	F1	1365,00	33,19%	0,00%
	F2	3100,00	14,61%	0,58%
	F3	1365,00	33,19%	0,00%
	F4	3100,00	14,61%	0,48%
ER-02	F1	1105,00	41,00%	3,44%
	F2	1935,00	23,41%	6,11%
	F3	1105,00	41,00%	6,57%
	F4	1935,00	23,41%	2,13%
ER-03	F1	1085,00	41,75%	7,87%
	F2	493,00	91,89%	17,89%
	F3	1085,00	41,75%	6,05%
	F4	493,00	91,89%	8,01%
ER-04	F1	1044,00	43,39%	4,07%
	F2	453,00	100,00%	32,51%
	F3	1044,00	43,39%	6,75%
	F4	453,00	100,00%	20,47%
ER-05	F1	1544,00	29,34%	1,88%
	F2	1238,00	36,59%	4,03%
	F3	1544,00	29,34%	1,47%
	F4	1238,00	36,59%	2,82%
Total de Amostras		20 Fachadas		

C.2 – Tabela com os FD_{Total} e $FD_{Médio}$ de cada manifestação patológica detectada em cada fachada analisada.

Amostra	Fachada	DC	MA	EF	FI	FD_{Total}
ER-01	F1	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	F2	24,39%	26,42%	49,19%	0,00%	0,58%
	F3	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	F4	72,97%	27,03%	0,00%	0,00%	0,48%
ER-02	F1	22,10%	62,26%	15,63%	0,00%	3,44%
	F2	23,03%	75,58%	0,94%	0,45%	6,11%
	F3	47,32%	45,06%	6,21%	1,41%	6,57%
	F4	24,01%	62,93%	13,07%	0,00%	2,13%
ER-03	F1	53,42%	5,50%	41,08%	0,00%	7,87%
	F2	44,53%	6,25%	49,22%	0,00%	17,89%
	F3	35,45%	49,13%	15,42%	0,00%	6,05%
	F4	37,79%	35,47%	26,74%	0,00%	8,01%
ER-04	F1	60,71%	0,00%	37,76%	1,53%	4,07%
	F2	40,92%	41,09%	16,64%	1,36%	32,51%
	F3	20,92%	67,38%	11,69%	0,00%	6,75%
	F4	38,81%	49,87%	11,32%	0,00%	20,47%
ER-05	F1	17,93%	82,07%	0,00%	0,00%	1,88%
	F2	21,43%	66,85%	11,72%	0,00%	4,03%
	F3	30,65%	49,35%	20,00%	0,00%	1,47%
	F4	89,53%	10,47%	0,00%	0,00%	2,82%

C.3 – Tabela com os valores de FDC_{Total} e FDC_{Médio} para cada manifestação patológica, considerando todas as fachadas analisadas.

Amostra	Fachada	DC	MA	EF	FI	FDC_{Total}
ER-01	10	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	10	24,39%	7,93%	14,76%	0,00%	1,06%
	10	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	10	72,97%	8,11%	0,00%	0,00%	2,42%
ER-02	16	22,10%	18,68%	4,69%	0,45%	2,05%
	16	23,03%	22,67%	0,28%	1,41%	6,72%
	16	47,32%	13,52%	1,86%	0,00%	8,05%
	16	24,01%	18,88%	3,92%	0,00%	2,39%
ER-03	21	53,42%	1,65%	12,32%	0,00%	10,33%
	21	44,53%	1,88%	14,77%	0,00%	9,00%
	21	35,45%	14,74%	4,63%	0,00%	5,42%
	21	37,79%	10,64%	8,02%	1,53%	1,57%
ER-04	21	60,71%	0,00%	11,33%	1,36%	5,95%
	21	40,92%	12,33%	4,99%	0,00%	14,30%
	21	20,92%	20,22%	3,51%	0,00%	3,63%
	21	38,81%	14,96%	3,40%	0,00%	8,32%
ER-05	26	17,93%	24,62%	0,00%	0,00%	1,31%
	26	21,43%	20,05%	3,52%	0,00%	2,62%
	26	30,65%	14,81%	6,00%	0,00%	1,64%
	26	89,53%	3,14%	0,00%	1,19%	6,93%