



**ESTUDO DA EVOLUÇÃO E DA GRAVIDADE DA DEGRADAÇÃO NAS DIFERENTES  
ZONAS COMPONENTES DA FACHADA**

**CARLA BOZZI PIAZZAROLLO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO E DA GRAVIDADE DA DEGRADAÇÃO  
NAS DIFERENTES ZONAS COMPONENTES DA FACHADA**

**CARLA BOZZI PIAZZAROLLO**

**ORIENTADOR: ELTON BAUER**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM-11A/19  
BRASÍLIA/DF JULHO – 2019**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO E DA GRAVIDADE DA DEGRADAÇÃO NAS  
DIFERENTES ZONAS COMPONENTES DA FACHADA**

**CARLA BOZZI PIAZZAROLLO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**APROVADO POR:**

---

**Prof. Elton Bauer, DSc. (ENC - UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. João Henrique da Silva Rêgo, DSc. (ENC - UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. Maria Cláudia de Freitas Salomão, DSc. (FECIV - UFU)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA – DF, 11 DE JULHO DE 2019**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PIAZZAROLLO, CARLA BOZZI

Estudo da Evolução e da Gravidade da Degradação nas Diferentes Zonas Componentes da Fachada [Distrito Federal] 2019.

xvii, 135 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2019).  
Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Degradação de Fachadas

2. Revestimento Cerâmico

3. Desempenho

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Mestre)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIAZZAROLLO, C. B. (2019). Estudo da Evolução e da Gravidade da Degradação nas Diferentes Zonas Componentes da Fachada. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 11A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 152 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Carla Bozzi Piazzarollo.

TÍTULO: Estudo da Evolução e da Gravidade da Degradação nas Diferentes Zonas Componentes da Fachada

GRAU: Mestre

ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília 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 desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Carla Bozzi Piazzarollo  
UnB, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte.  
70.904-111 Brasília – DF – Brasil.  
carlabp@gmail.com

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Claudete e Carlos.

Jamais para mim a bandeira abaixada, jamais a última tentativa.

Sir Ernest Henry Shackleton

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que me deu força, ânimo e coragem para superar cada degrau de dificuldade encontrado no caminho. A Ele, que me mostrou que não existe nenhum obstáculo que não possa ser superado com a força da fé, e que foi o meu grande companheiro de todos os dias, devo a minha gratidão.

Aos meus pais Claudete e Carlos, que mais uma vez sacrificaram seus sonhos e interesses em favor dos meus, e não mediram esforços para permitir que eu conquistasse esse título. A eles, que mesmo de muito longe sempre se fizeram presentes, compartilhando das minhas angústias, preocupação e decepções, sempre procurando me apoiar e manter firme diante dos diversos obstáculos. Obrigada por acreditarem mais em mim do que eu mesma. Essa vitória é por vocês.

Ao meu orientador, Professor Elton Bauer, que se dedicou a transmitir uma das maiores virtudes que se pode ter: o conhecimento. Agradeço por me ensinar a questionar e buscar ir sempre além dos meus limites.

Aos colegas do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília, especialmente aos da Sala 7, que permitiram que essa jornada fosse menos pesada e dolorosa, compartilhando sonhos, sorrisos, medos e às vezes lágrimas. Agradeço à Jéssica Souza e Patrícia Milhomem, amigas de grupo de pesquisa, por todo o companheirismo durante estes dois anos de UnB.

A CAPES pelo suporte financeiro que garantiu minha dedicação exclusiva ao mestrado.

## **RESUMO**

### **ESTUDO DA EVOLUÇÃO E DA GRAVIDADE DA DEGRADAÇÃO NAS DIFERENTES ZONAS COMPONENTES DA FACHADA**

**Autora: Carla Bozzi Piazzarollo**

**Orientador: Elton Bauer**

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil**

**Brasília, Julho de 2019**

A degradação das edificações tem importância nos aspectos estético, econômico, ambiental e técnico e a caracterização de seu desempenho é importante no estudo do comportamento dos materiais e elementos de construção. As fachadas dos edifícios constituem um conjunto de elementos com diferentes funções e características, que funcionam como a primeira envoltória de proteção das edificações frente a diferentes solicitações. A degradação das fachadas está relacionada com um amplo número de variáveis e ações e, no que tange ao entendimento das anomalias em revestimentos de fachada, é constante a busca por identificar, entender e sistematizar os fenômenos que as provocam. O presente estudo tem como objetivo investigar a evolução e a gravidade da degradação nas zonas da fachada e correlacioná-las à orientação, tipo de elemento construtivo e idade, permitindo modelar a degradação dos edifícios. Por meio do emprego do Método de Mensuração de Degradação foi mensurada a degradação de 45.877 m<sup>2</sup> de área fachada. Os resultados indicaram que as zonas da fachada se degradam de maneira distinta e com intensidades variáveis. O descolamento cerâmico foi a anomalia mais intensa e com maior probabilidade de ocorrência, independente da zona avaliada. Paredes contínuas, transição de pavimentos e topo foram as zonas mais críticas. A orientação e o tipo de elemento construtivo influenciaram no grau de dano das zonas de maneira distinta, sendo as orientações Norte e Oeste e o elemento construtivo do tipo caixa de escada os mais críticos, principalmente nos edifícios com idade superior a 25 anos. Evidencia-se como principal conclusão desta pesquisa que as zonas da fachada são afetadas de maneira distinta conforme o tipo de elemento construtivo, a orientação e, principalmente, a idade, comprovando a importância do estudo isolado de cada uma delas.

**Palavras-chave:** Degradação de Fachadas; Revestimento Cerâmico; Desempenho



## **ABSTRACT**

### **STUDY OF THE PROGRESSION AND SEVERITY OF DEGRADATION IN DIFFERENT FACADE COMPONENT ZONES**

**Author: Carla Bozzi Piazzarollo**

**Supervisor: Elton Bauer**

**Postgraduate Program in Structural Engineering and Construction**

**Brasilia, July 2019**

The degradation of buildings is important for aesthetic, economic, environmental and technical reasons and the characterization of their performance is important to the study of the behavior of materials and building elements. Building facades are a set of exterior design elements with different functions and characteristics, which act as the primary envelope that protect buildings against various factors. The degradation of facades is related to a large number of variables and actions, and in order to understand anomalies in facade coatings, identifying, understanding and systematizing the phenomena that cause facade degradation is essential. The present study aims to investigate the progression and severity of the degradation in facade areas and correlate them with the orientation, type of building element and age. This will allow a model of the degradation of buildings to be created. Through the use of the Degradation Measurement Method, the degradation of 45,877 m<sup>2</sup> of facade area was measured. The results indicated that the facade areas degrade in different ways and with varying intensities. Ceramic detachment was the most prominent and probable anomaly, independent of the evaluated zone. Continuous walls, transitions between floors and top were the most critical zones. The orientation and the type of building element influenced the degree of degradation of the zones of different ways. North and West orientations and staircases were the most critical, primarily in the buildings over 25 years old. The main conclusion of this research is facade areas are affected differently according to the type of building element, orientation and, especially, age, proving the importance of the isolated study of each one of them.

**Keywords:** Facade Degradation; Ceramic Cladding; Performance

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Contextualização.....	1
1.2	Objetivo Geral.....	3
1.3	Objetivos Específicos .....	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	4
2.1	Desempenho.....	4
2.2	Durabilidade e Vida Útil.....	5
2.2.1	Métodos para a previsão da vida útil.....	6
2.3	Degradação .....	9
2.3.1	Agentes de degradação .....	9
2.3.2	Curvas de degradação.....	12
2.4	Anomalias em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachadas .....	16
2.4.1	Descolamento cerâmico.....	16
2.4.2	Fissura.....	17
2.4.3	Falha de rejunte .....	18
2.4.4	Eflorescência .....	18
2.5	Método de Mensuração de Degradação (MMD) .....	19
2.5.1	Trabalhos Precursores na Linha de Pesquisa.....	29
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	Etapa 1 – Levantamento e Organização dos Dados.....	31
3.1.1	Organização dos dados e determinação das variáveis de estudo.....	32
3.1.2	Tratamento dos dados e amostragem.....	33
3.2	Etapa 2 – Probabilidade de Ocorrência e Intensidade da Degradação.....	36
3.2.1	Análise 1 – Probabilidade de ocorrência das anomalias.....	38
3.2.2	Análise 2 – Intensidade da degradação.....	39
3.3	Etapa 3 – Gravidade da Degradação .....	41
3.3.1	Análise 3 - Índice de Gravidade Relativa (IGR) .....	41

3.4	Etapa 4 – Curvas e Modelos de Degradação .....	43
3.4.1	Curvas de degradação .....	43
3.4.2	Modelos de degradação .....	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	45
4.1	Avaliação Inicial do Grau de Degradação na Amostra em Estudo.....	45
4.2	Análise 1 – Probabilidade de Ocorrência das Anomalias.....	45
4.2.1	Considerações sobre as variáveis .....	46
4.2.2	Probabilidade de ocorrência das anomalias por zona.....	49
4.2.3	Probabilidade de ocorrência das anomalias por orientação e tipo de elemento construtivo .....	50
4.2.4	Probabilidade de ocorrência das anomalias por grupo de idade.....	53
4.2.5	Síntese e discussão dos resultados de probabilidade de ocorrência .....	68
4.3	Análise 2 - Intensidade da Degradação.....	69
4.3.1	Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio da amostra.....	69
4.3.2	Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio por orientação.....	71
4.3.3	Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio por tipo de elemento.....	72
4.3.4	Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio por tipo de anomalia.....	74
4.3.5	Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio por grupo de idade.....	75
4.3.6	Síntese e discussão dos resultados de intensidade da degradação.....	86
4.4	Gravidade da Degradação .....	88
4.4.1	Análise 3 - Índice de Gravidade Relativa (IGR) .....	88
4.4.2	Fator de Danos Ponderado <i>versus</i> Fator de Danos da Zona.....	95
4.4.3	Síntese e discussão dos resultados de gravidade da degradação .....	99
4.5	Curvas e Modelos de Degradação .....	101
4.5.1	Curva de degradação .....	101
4.5.2	Modelos de degradação .....	103
4.5.3	Síntese e discussão dos resultados das outras avaliações .....	113

4.6	Considerações Finais .....	117
5	CONCLUSÕES .....	121
5.1	Sugestões Para Trabalhos Futuros .....	122
	REFERÊNCIAS .....	124

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Parábola de molhagem de fachadas de edifícios pela ação da chuva dirigida (STRAUBE, 1998) .....	12
Figura 2.2 – Tipos de Curva de Degradação .....	14
Figura 2.3 - Exemplo de curva de degradação (Galbusera, 2013) .....	15
Figura 2.4 - Exemplo de curva de degradação (Souza, 2016).....	16
Figura 2.5 - Divisão da fachada em amostras.....	20
Figura 2.6 – Exemplos dos tipos de elemento construtivo.....	22
Figura 2.7 – Esquema ilustrativo da sobreposição de malha e registro de anomalias....	24
Figura 2.8 – Exemplo de edifício com malha sobreposta e divisão em zonas .....	24
Figura 3.1 – Etapas do trabalho .....	31
Figura 3.2 – Exemplo do critério de exclusão de amostras .....	35
Figura 3.3 – Quantidade de amostras por (a) orientação, (b) tipo de elemento construtivo e (c) grupo de idade .....	36
Figura 3.4 - Exemplo de mapeamento de fachada com indicação de áreas em que ocorre a sobreposição de anomalias (BAUER <i>et al.</i> , 2007; SOUZA, 2016).....	41
Figura 3.5 – Exemplo da avaliação em quadrantes da relação $FD_w$ versus $FD_z$ .....	43
Figura 4.1 – Porcentagem de área degradada nas zonas da fachada .....	45
Figura 4.2 – (a) Distribuição do número de amostras por orientação; (b) Porcentagem de área de fachada por orientação; (c) Percentual de ocorrência de anomalias por orientação.....	46
Figura 4.3 – (a) Distribuição do número de amostras por tipo de elemento construtivo; (b) Porcentagem de área de fachada por tipo de elemento construtivo; (c) Percentual de ocorrência de anomalias por tipo de elemento construtivo .....	47
Figura 4.4 - (a) Distribuição do número das amostras por grupo de idade; (b) Percentual de área de fachada por grupo de idade; (c) Probabilidade de ocorrência de anomalias por grupo de idade .....	48
Figura 4.5 – Probabilidade de ocorrência de cada anomalia, apresentada por zona. (a) Paredes Contínuas (PC); (b) Aberturas (AB); (c) Sacadas (SC); (d) Cantos e Extremidades (CE); (e) Transição de Pavimentos (TP); (f) Topo (TO).....	50
Figura 4.6 – Probabilidade de ocorrência de descolamento cerâmico por orientação nos Grupos 1, 2 e 3.....	55

Figura 4.7 – Probabilidade de ocorrência de fissura por orientação nos Grupos 1, 2 e 3 .....	57
Figura 4.8 – Probabilidade de ocorrência de falha de rejunte por orientação nos Grupos 1, 2 e 3 .....	59
Figura 4.9 – Probabilidade de ocorrência de eflorescência por orientação nos Grupos 1, 2 e 3 .....	61
Figura 4.10 – Fator de Danos Ponderado por zona .....	70
Figura 4.11 – Fator de Danos Ponderado por zona e orientação (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste.....	71
Figura 4.12 – Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de elemento construtivo (a) Caixa de Escada; (b) Prumada; (c) Empena .....	73
Figura 4.13 – Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de anomalia (a) DC; (b) FI; (c) FR; (d) EF.....	75
Figura 4.14 - Fator de Danos Ponderado por zona e orientação no Grupo 1: (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste .....	76
Figura 4.15 - Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de elemento construtivo no Grupo 1: (a) Prumada; (b) Empena .....	77
Figura 4.16 - Fator de Danos Ponderado por zona e orientação no Grupo 2: (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste .....	79
Figura 4.17 - Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de elemento construtivo no Grupo 2: (a) Prumada; (b) Empena .....	80
Figura 4.18 - Fator de Danos Ponderado por zona e orientação no Grupo 3: (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste .....	82
Figura 4.19 - Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de elemento construtivo no Grupo 3: (a) Caixa de Escada; (b) Prumada; (c) Empena .....	83
Figura 4.20 – Índice de Gravidade Relativa no Grupo 1 .....	91
Figura 4.21 – Índice de Gravidade Relativa no Grupo 2 .....	92
Figura 4.22 – Índice de Gravidade Relativa no Grupo 3 .....	94
Figura 4.23 – Avaliação da Intensidade <i>versus</i> Frequência – Grupo 1 .....	96
Figura 4.24 – Avaliação da Intensidade <i>versus</i> Frequência – Grupo 2 .....	97
Figura 4.25 – Avaliação da Intensidade <i>versus</i> Frequência – Grupo 3 .....	98
Figura 4.26 – Curva de degradação para as diferentes orientações (FGD x Idade) .....	101
Figura 4.27 – Curva de degradação para os diferentes elementos construtivos (FGD x Idade).....	102

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Agentes de degradação em função da natureza (adaptado da ASTM E632:1996 e ISO 15686-2: 2012).....	10
Tabela 2.2 – Instruções para divisão das amostras de fachadas .....	21
Tabela 2.3 – Etapas para a quantificação de danos via MMD .....	23
Tabela 2.4 – Definição das zonas das fachadas.....	25
Tabela 3.1 – Exemplo da planilha de sistematização dos dados obtidos via MMD.....	32
Tabela 3.2 – Variáveis de estudo.....	33
Tabela 3.3 – Associação das variáveis dependentes e independentes .....	37
Tabela 4.1 - Probabilidade de ocorrência das anomalias na amostra .....	52
Tabela 4.2 - Probabilidade de ocorrência das anomalias no Grupo 1 .....	63
Tabela 4.3 - Probabilidade de ocorrência das anomalias no Grupo 2 .....	64
Tabela 4.4 - Probabilidade de ocorrência das anomalias no Grupo 3 .....	65
Tabela 4.5 - Resumo dos resultados de probabilidade de ocorrência ( $P_f$ ).....	68
Tabela 4.6 – Área total de danos por zona de fachada ( $m^2$ ) .....	70
Tabela 4.7 – Área total de danos por orientação ( $m^2$ ) .....	72
Tabela 4.8 – Área de dano por tipo de elemento construtivo ( $m^2$ ).....	74
Tabela 4.9 – Fator de Danos Ponderado para o Grupo 1.....	78
Tabela 4.10 - Fator de Danos Ponderado para o Grupo 2 .....	81
Tabela 4.11 - Fator de Danos Ponderado para o Grupo 3 .....	85
Tabela 4.12 - Resumo dos resultados médios de $FD_w$ para cada estudo .....	86
Tabela 4.13 - Resumo dos resultados de $FD_w$ nos grupos de idade.....	87
Tabela 4.14 – Intervalos de classe de $FD_w$ do Grupo 1 .....	89
Tabela 4.15 - Intervalos de classe de $FD_w$ do Grupo 2.....	89
Tabela 4.16 - Intervalos de classe de $FD_w$ do Grupo 3.....	90
Tabela 4.17 – Frequência de ocorrência dos danos nos grupos.....	90
Tabela 4.18 - Resumo dos resultados de IGR nos grupos de idade.....	99
Tabela 4.19 - Modelos de degradação para o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ).....	104
Tabela 4.20 - Sumário dos modelos de RML para o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ )...	105
Tabela 4.21 - Importância relativa de cada zona (%) .....	107
Tabela 4.22 - Modelos de degradação para a probabilidade de ocorrência ( $P_f$ ).....	108
Tabela 4.23 - Sumário dos modelos de RML para a probabilidade de ocorrência ( $P_f$ )	108
Tabela 4.24 – Importância relativa de cada zona (%) .....	110

Tabela 4.25 - Modelos de degradação para o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ).....	110
Tabela 4.26 - Sumário dos modelos de RML para o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) .....	111
Tabela 4.27 - Importância relativa de cada zona (%).....	112
Tabela 4.28 - Resumo das zonas mais representativas.....	114



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Abertura
CE	Cantos e Extremidades
DC	Descolamento Cerâmico
EF	Eflorescência
FC	Fator de Correção
FD	Fator de Danos
FD <sub>ZC</sub>	Fator de Danos da Zona Corrigido
FD <sub>Z</sub>	Fator de Danos da Zona
FD <sub>w</sub>	Fator de Danos Ponderado
FGD	Fator Geral de Danos
FI	Fissuração
FQ	Ficha de Quantificação
FR	Falha de Rejunte
IGR	Índice de Gravidade Relativa
MMD	Método de Mensuração de Degradação
PC	Paredes Contínuas
SC	Sacadas
TO	Topo
TP	Transição de Pavimentos

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

As fachadas de um edifício constituem um conjunto de elementos com diferentes funções e características, funcionando como a primeira envoltória de proteção das edificações frente aos diferentes tipos de solicitação causadas por esforços internos e externos (GASPAR, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2011; SILVA, 2014; MADUREIRA *et al.*, 2017; GASPAR, 2017). Cada um dos elementos do sistema tem respostas específicas aos agentes de degradação em termos de vida útil, desempenho e das anomalias (SILVA *et al.*, 2016). As fachadas, conseqüentemente, têm um papel fundamental no desempenho das edificações, proporcionando conforto acústico e higrotérmico, além de proteção dos componentes do sistema frente aos agentes de degradação relacionados ao ambiente onde a edificação está inserida como, por exemplo, radiação solar, temperatura, chuva, vento, agentes químicos e biológicos (HAAGENRUD, 2004).

A degradação das fachadas resulta da ação de diferentes tipos defeitos e seu surgimento não ocorre por apenas uma causa, mas sim por uma combinação de fatores (SILVESTRE & DE BRITO, 2011). As principais causas dos defeitos estão relacionadas aos aspectos de especificação de materiais, qualidade de projeto e execução, e à exposição direta dos elementos de fachada aos agentes climáticos (BARREIRA & FREITAS, 2007; PAULO *et al.*, 2014; SOUSA *et al.*, 2016; GASPAR *et al.*, 2016; BAUER *et al.*, 2016; NADOUSHANI *et al.*, 2017).

Associado aos aspectos de desempenho, vida útil e manutenção de edifícios, o que se sabe é que a degradação de fachadas está relacionada com um amplo número de variáveis e ações que, muitas vezes são difíceis de mensurar e modelar (SHOET & PACIUK, 2004; GALBUSERA *et al.*, 2014a; FINGER *et al.*, 2015). Isto porque há um efeito simultâneo do grau de exposição e dos aspectos de projeto e construtivo, para cada edifício, de modo que se torna uma tarefa complexa identificar as variáveis e os principais mecanismos responsáveis pela degradação (FLORES-COLEN *et al.*, 2008; GASPAR, 2017). Para o estudo e a avaliação da degradação de fachadas são empregados diferentes procedimentos, como os ensaios de desempenho, elaboração de protótipos, avaliação da intensidade e frequência dos defeitos, entre outros.

Os principais agentes de degradação de fachadas são os agentes climáticos, com grande ênfase para a chuva dirigida e a radiação solar. A resposta da fachada à radiação solar incidente se traduz, principalmente, em estresse termomecânico, ocasionado pela alteração da temperatura, e a intensidade da resposta é tanto mais crítica quanto maior o período de tempo de exposição da fachada a este agente, e mais intensa a radiação (BAUER *et al.*, 2014; BARREIRA & FREITAS, 2016; MAZES *et al.*, 2016). A presença e a ação deste agente são diretamente dependentes das características climáticas e orientação cardinal do edifício (BAUER *et al.*, 2014). O efeito da chuva dirigida pode ocasionar molhamento e variações mecânicas, permitindo o desenvolvimento de variações dimensionais, fissuras, infiltrações e a ocorrência de choque térmico. A ação e os efeitos da chuva dirigida dependem diretamente do clima e do microclima que circundam o edifício, dos regimes de chuvas e da incidência de ventos.

Os principais defeitos identificados para os edifícios com revestimentos cerâmicos são o descolamento cerâmico, fissuras, falha de rejunte, eflorescência e falha de vedação (SILVESTRE & DE BRITO, 2011; BAUER *et al.*, 2014). Áreas mais próximas do topo, as laterais e os elementos projetados dos edifícios, como é o caso das varandas, são mais suscetíveis à ação da radiação solar, da chuva e do vento (BAUER *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2015). As zonas protegidas da chuva dirigida tendem a mostrar poucos casos de eflorescência e infiltração, enquanto zonas protegidas da radiação solar incidente direta tendem a apresentar menos casos de fissuração e descolamento (SILVA *et al.*, 2014; BAUER *et al.*, 2014; SOUZA & BAUER, 2016).

Desta forma, nota-se que cada edifício tem suas particularidades e especificidades de construção, de modo que a resposta ao mesmo agente de degradação é única para cada caso (ISO 15686-2, 2012). Diferentes níveis de exposição de fachada ou de zonas de fachada, e a maior ou menor sensibilidade dos elementos aos agentes de degradação, levam a diferentes níveis de degradação em cada caso. Os defeitos podem ocorrer em diferentes intensidades e tipos, dependendo da sua posição no plano da fachada, desta forma, é provável que exista uma relação entre as causas do surgimento das anomalias e as zonas em que ocorrem (BAUER *et al.*, 2011; RODRIGUES *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2015).

Neste aspecto, torna-se importante medir a intensidade dos defeitos em diferentes zonas da fachada, associando-os a diferentes agentes e mecanismos de degradação. Essa quantificação permite entender as principais relações que definem tanto o desempenho ao longo do tempo, quanto a vida útil das fachadas, com foco na gravidade dos danos para a edificação.

## **1.2 Objetivo Geral**

O objetivo geral desta dissertação de mestrado é investigar a evolução e a gravidade da degradação nas diferentes zonas que compõem a fachada e correlacioná-las à orientação, tipo de elemento construtivo e idade, permitindo modelar a degradação e contribuindo no estudo da vida útil dos edifícios.

## **1.3 Objetivos Específicos**

- Quantificar a probabilidade de ocorrência e a intensidade da degradação nas zonas componentes da fachada por orientação, tipo de elemento construtivo e idade. Avaliar se existe alguma relação entre os tipos de anomalia que ocorrem nas zonas com estas condições.
- Verificar se existe uma hierarquização das zonas em termos de degradação para a orientação e o tipo de elemento construtivo.
- Estabelecer o que é mais grave para a edificação: a intensidade dos defeitos ou a sua frequência de ocorrência.
- Avaliar a gravidade da presença de defeitos pontuais e generalizados e identificar a existência de uma ferramenta mais adequada para a determinação da gravidade das zonas de fachada.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A envoltória do edifício tem como função além da estética e do estilo do edifício, a proteção da edificação frente às intempéries, promovendo segurança e conforto aos usuários. As fachadas, em especial, contribuem significativamente no desempenho e durabilidade do edifício. Neste sentido, torna-se importante a definição de alguns conceitos e métodos fundamentais no estudo dos edifícios.

### **2.1 Desempenho**

Desempenho é o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas, estando associado às condições de utilização para as quais a edificação foi projetada, ao atendimento às normas durante o processo de execução da obra, ao uso de materiais e elementos desprovidos de defeitos e imperfeições, e à implementação de programas de manutenção corretiva e preventiva na fase de operação e ao longo da vida útil (ABNT NBR 15575-1, 2013).

Consoante às necessidades do usuário relacionadas à segurança, habitabilidade e sustentabilidade, são estabelecidos requisitos e critérios mínimos de desempenho para os diferentes sistemas a serem considerados e atendidos. Mais especificamente, no que tange às fachadas, a ABNT NBR 15575-1 (2013) propõe os níveis mínimos de requisitos e critérios, bem como os métodos de avaliação de desempenho para os sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE), que estão estreitamente associadas aos demais sistemas, recebendo influências e influenciando o desempenho da edificação habitacional.

As fachadas podem interagir com os demais componentes do sistema, além de exercerem outras funções como estanqueidade à água, isolamento térmico e acústico, capacidade de suporte a esforços, entre outros (ABNT NBR 15575-1, 2013). Desta maneira, é de extrema importância a preocupação com a qualidade dos revestimentos, de modo que desempenhem bem suas funções e, também, satisfaçam as necessidades dos usuários para as diferentes solicitações que influenciam na sua durabilidade e na sua vida útil.

## 2.2 Durabilidade e Vida Útil

Durabilidade é definida como a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo, e sob condições de uso e manutenção, especificadas no manual de uso, operação e manutenção (HOVDE, 2004; ABNT NBR 15575-1, 2013).

A durabilidade é uma das questões mais importantes na área de construção civil, pois influencia em aspectos de materiais de construção, componentes, edifícios e estruturas como a sustentabilidade, vida útil, custo de reparo e reforma e impacto ambiental (JERNBERG *et al.*, 2004).

A conscientização ambiental e o desenvolvimento sustentável têm incentivado ações que promovem a sustentabilidade ambiental, envolvendo o uso racional dos recursos naturais de modo a reduzir os danos ao meio ambiente (FREITAS *et al.*, 2013). Sendo assim, a relação entre a sustentabilidade e a durabilidade dos sistemas e componentes dos edifícios torna-se cada vez mais íntima.

Aliada ao conforto e a estética do edifício, a durabilidade é, portanto, uma exigência presente e marcante nos projetos de edifícios (AMORIM *et al.*, 2014). O termo, em geral, é empregado como um indicador qualitativo para expressar a condição em que a edificação ou seus sistemas mantêm seu desempenho requerido durante a vida útil (ABNT NBR 15575-1, 2013).

A vida útil (VU) pode ser definida como o período em que todo o edifício e suas partes atendem ou excedem os requisitos mínimos de desempenho, considerando a periodicidade e correta execução dos processos de manutenção especificados no manual de uso, operação e manutenção, para que não sejam perdidos os prazos de garantia (BS ISO 15686-1, 2011; ABNT NBR 15575-1, 2013).

A vida útil é calculada como vida útil de projeto (VUP), que é uma estimativa teórica do tempo que compõe o chamado tempo de vida útil. A ABNT NBR 15575-1 (2013) sugere para a VUP de vedações verticais externas um tempo mínimo e superior de 40 e 60 anos, respectivamente, e para revestimentos de fachada aderidos ou não, o mínimo de 20 e superior de 30 anos.

## 2.2.1 Métodos para a previsão da vida útil

Diferentes métodos para a previsão da vida útil de componentes de construção, com ou sem função estrutural, tem sido objeto de estudos realizados no âmbito de comissões técnicas internacionais, como por exemplo: CIB (W80), RILEM (71-PSL, 100-TSL, 175-SLM), ISO (TC 59 SC 14), entre outros.

Neste contexto são listados alguns dos trabalhos, regulamentações e normas que apresentam as principais contribuições no estudo da vida útil ao longo dos anos ao redor do mundo.

- Masters *et al.* (1987) e Masters *et al.* (1989): expõem o estado da arte dos métodos de previsão da vida útil e sugerem um método geral de previsão da vida útil para materiais e componentes, identificando as necessidades de investigação nesse domínio.
- Sjöström e Brandt (1991): apresentam uma contribuição para o estudo da previsão da vida útil de materiais e componentes das edificações, com enfoque na problemática do recebimento e utilização de dados provenientes de exposição em serviço.
- Architectural Institute of Japan (AIJ, 1993): proposta de um método de previsão da vida útil para materiais e componentes, baseada em um modelo fatorial, a qual foi posteriormente adaptada pela ISO nas suas normas da série ISO 15686.
- Martin *et al.* (1994) e Martin (1999): sugerem a utilização da teoria de confiabilidade, como forma de melhorar a qualidade das previsões e estimativas obtidas, na previsão da vida útil de sistemas de revestimento por pintura.
- Série ISO 15686 (*Building and construction assets – service life planning*): esta é hoje uma das fontes mais consultadas nos documentos sobre vida útil de componentes de construção. Dentre elas, destaca-se a ISO 15686-2:2012, que apresenta uma metodologia para a previsão da Vida Útil de Projeto.
- ASTM E632-8 (*Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials*), BS 7543 (*Guide to durability of buildings and building elements, products and components*), CSA S478-95 (*Guideline on durability in buildings*), New Zealand Building Code (NZBC), conjunto de normas ABNT NBR 15575 (2013), entre outros.

O problema da previsão da vida útil de sistemas construtivos pode ser dividido em três fases fundamentais. O objetivo final do procedimento é modelar o desempenho dos materiais e componentes das edificações, de modo que seja possível a previsão da sua vida útil (BRANCO *et al.*, 2013).

A primeira fase compreende a definição do problema, onde são definidos os materiais em análise e suas características, as condições ambientais, possíveis agentes e mecanismo de degradação, as anomalias prováveis, os ensaios a serem utilizados e a forma como os dados serão analisados. Posteriormente os dados são recebidos, fornecendo a informação necessária sobre os mecanismos de degradação e as anomalias, e também sobre a forma como as características, os fatores ambientais e outros fatores de degradação influenciam a evolução desses mecanismos. Por último é realizada a análise de dados, onde todas as informações obtidas por meio das fases anteriores são utilizadas na construção de modelos de degradação, a fim de se obter estimativas da vida útil do material.

A vida útil dos materiais e componentes do edifício está associada a uma grande variabilidade dos processos de degradação, e a uma elevada quantidade de variáveis relacionadas ao ciclo de vida dos edifícios, que envolvem desde falhas de projeto e execução, a fenômenos de degradação sem explicação clara (HOVDE, 2004). Por este motivo, para a fase de análise de dados, existem diferentes abordagens para a modelação da previsão da vida útil.

Os principais métodos utilizados para a estimativa da vida útil são os determinísticos, probabilísticos e de engenharia (LACASSE *et al.*, 2004; JERBERG *et al.* 2004; BRANCO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2016). Cabe ao pesquisador escolher a melhor abordagem para o problema que deseja modelar, considerando a vantagens e limitações de cada metodologia (FREITAS *et al.*, 2013).

#### **2.2.1.1 Métodos determinísticos**

O método determinístico é demasiadamente simplista na modelação da realidade, entretanto, tem a vantagem de ser facilmente implementado, sendo capaz de ultrapassar lacunas existentes na informação disponível (DE BRITO *et al.*, 2013). O método permite avaliar a perda de desempenho das edificações ou seus componentes em condições reais de serviço, em diferentes estágios de sua vida útil, com base em dados



coletados durante o trabalho de inspeção em campo (SHOHET & PACIUK, 2004; GASPAR & DE BRITO, 2008).

A vida útil, neste caso, é estimada empregando um procedimento gráfico e uma análise estatística da evolução da degradação ao longo do tempo. A evolução da degradação, em geral, é apresentada sob a forma de curvas de degradação, que podem ser associadas a mecanismos específicos de degradação (SHOHET *et al.*, 1999; BRANCO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2016). São exemplos de métodos determinísticos as análises de regressão simples e múltipla, linear ou não linear.

#### **2.2.1.2 Métodos probabilísticos**

Os métodos probabilísticos permitem enriquecer as previsões obtidas, associando a cada nível de degradação uma probabilidade de ocorrência para uma determinada idade do componente (BRANCO *et al.*, 2013). Neste método, são utilizados procedimentos estatísticos complexos, que dependem, principalmente, da quantidade de dados disponíveis. Por meio desta abordagem, pode-se utilizar regressão logística, Cadeias de Markov e até mesmo incluir nos modelos de previsão da vida útil noções de risco e incerteza, fornecendo uma visão probabilística dos fenômenos de degradação (DE BRITO *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2015).

Nesse método, a degradação passa a ser considerada como um processo estocástico, que é descrito por um conjunto de variáveis aleatórias que definem parâmetros probabilísticos que afetam a curva de degradação média, onde a probabilidade de degradação é definida para cada propriedade durante um intervalo de tempo (PINHEIRO, 2013; SILVA *et al.*, 2016). Por incluir na estimativa da vida útil um intervalo de possíveis valores de probabilidade de ocorrência de degradação, o modelo permite descrever, ao longo do tempo, a evolução da degradação com as suas respectivas incertezas.

#### **2.2.1.3 Métodos de engenharia**

Os métodos de engenharia, por sua vez, combinam os dois métodos anteriores, de modo a preservar a simplicidade de um e a confiabilidade do outro. Neste modelo, para a previsão da vida útil, dados estatísticos são introduzidos na definição dos fatores de degradação, possibilitando a consideração da variabilidade associada à incerteza da realidade (SILVA *et al.*, 2016). A principal vantagem no uso desta modelagem é a avaliação do desempenho de forma analítica, possibilitando maior controle dos planos

de manutenção (BORDALO *et al.*, 2010). É um exemplo de método de engenharia a Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA).

## **2.3 Degradação**

A perda gradual do desempenho está diretamente associada ao processo de degradação. As anomalias presentes nas fachadas são, muitas vezes, resultado do não atendimento dos requisitos e critérios de desempenho estabelecidos pelas normas nacionais e/ou internacionais vigentes, mas também podem ser manifestações diretas dos processos de degradação (SOUZA, 2016).

Os elementos construtivos passam por um envelhecimento natural no decorrer do tempo relacionado, principalmente, com as condições de exposição ao ambiente e aos agentes de degradação. Desta forma, torna-se importante compreender as ações e suas respectivas durações, além da sensibilidade do sistema a elas, visto que estas ações, de diferentes naturezas, podem acelerar o processo de degradação e reduzir a vida útil da edificação (DIAS *et al.*, 2014; SOUZA, 2016).

Com relação às ações, é imprescindível caracterizar os agentes responsáveis pela degradação, que são um grupo de fatores que afetem o desempenho dos componentes e materiais do edifício. Estes agentes podem ser climatológicos, biológicos, provenientes de esforços mecânicos, incompatibilidades ou ainda relacionados aos fatores de uso e ocupação (ASTM E632, 1996; BS ISO 15686-2, 2012).

### **2.3.1 Agentes de degradação**

A ISO 15686-2 (2012) classifica os agentes conforme sua natureza. Em geral, quando externos à edificação os agentes são originados da atmosfera ou solo, quando internos à edificação os agentes são originados do uso e ocupação. Diferentes agentes podem se combinar e, conseqüentemente, alterar a natureza da ação (HAAGENRUD, 2004). A Tabela 2.1 apresenta os agentes de degradação dos materiais e componentes em função de sua natureza.

Tabela 2.1 - Agentes de degradação em função da natureza (adaptado da ASTM E632:1996 e ISO 15686-2: 2012)

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

A procedência dos agentes citados na Tabela 2.1 pode ser diversa, mas, restringindo-se ao escopo deste trabalho, no que diz respeito aos agentes que atuam nas fachadas, destacam-se aqueles provenientes do clima como a temperatura, radiação, formas de umidade e o vento. A ação combinada entre diferentes agentes também pode ocorrer, sendo o maior exemplo a associação da chuva com o vento, dando origem a chuva dirigida nas fachadas (BLOCKEN *et al.*, 2013).

A temperatura é um agente atmosférico externo ao edifício, que provoca alterações nas propriedades físicas e químicas das superfícies, como por exemplo, perda de elasticidade a baixas temperaturas ou oxidação acelerada a altas temperaturas, ocasionando o aparecimento de fissuras, descolamento e rupturas, principalmente nos revestimentos porosos, por absorverem umidade e calor, ocasionando grandes tensões nas interfaces dos componentes (CONSOLI, 2006; FLORES-COLEN, 2009; SILVA, 2014).

A radiação solar é um agente externo ao edifício que, atuando em um nível macro climático é função da latitude, altitude e da porcentagem de energia solar refletida pela superfície em relação ao total da energia recebida. A radiação atua sobre os edifícios na

forma de radiação direta, difusa e refletida, variando nos diferentes comprimentos de onda e em função da maior ou menor presença de nuvens (FLORES-COLEN, 2009; PSA, 1989; BSI, 2003). Nesse contexto, conhecer a trajetória solar e quantificar a radiação são procedimentos importantes para identificar a influência desta variável em cada uma das orientações da edificação, e também compreender melhor seus efeitos globais na degradação das fachadas (ZANONI, 2015).

A temperatura e a degradação por radiação podem ser bons parâmetros para expressar a severidade dos fatores climáticos em revestimentos de fachada, uma vez que são os fenômenos provenientes da atmosfera mais agressivos aos revestimentos de fachadas de edifícios (HAAGENRUD, 2004).

Ainda neste sentido, conceitos importantes no estudo da influência da radiação na fachada dos edifícios são absorvância e refletância solar. A absorvância solar ( $\alpha$ ) é definida como o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre esta superfície. A refletância solar ( $\rho$ ) é o quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície, pela taxa de radiação solar incidente sobre esta superfície (DORNELLES & RORIZ, 2007).

O meio mais eficaz para controlar a quantidade de calor que chega até o interior de uma edificação é considerar o modo como o envelope construtivo absorve e reflete a radiação solar. Superfícies com baixa absorvância, em geral, tendem a refletir a maior parte do calor e da luz do sol e usualmente são lisas e de cores claras (GIVONI, 1981 *apud* DORNELLES, 2008).

Outro agente originado da ação do clima e que contribui com os processos de degradação é a água, cujo principal fonte nas fachadas de edifícios é a chuva dirigida. Este último termo é empregado para a associação da chuva com a ação do vento (BLOCKEN *et al.*, 2013). Devido à ação do vento, a água, que naturalmente cairia no sentido vertical, passa a molhar de maneira significativa as paredes (FREITAS, 2011).

Para o cálculo da força resultante devido à ação dos ventos em uma edificação, devem ser considerados aspectos relacionados ao perfil do terreno, a geometria dos obstáculos no contorno, a topografia e a rugosidade do solo (ABNT NBR 6123, 2013). Além dos aspectos associados à sua ação, a sua influência no processo de degradação está diretamente associada ao seu efeito na chuva dirigida, visto que o vento é condicionante no processo de penetração das partículas sólidas e água nas fachadas (FREITAS, 2011;

BLOCKEN *et al.*, 2013). Além disso, as pressões de incidência da chuva ocorrem de maneira distinta na envoltória, provocando diferentes intensidades de desgaste do paramento, tornando-o mais ou menos permeável à água (HAAGENRUD, 2004; FLORES-COLEN, 2009).

A chuva dirigida atinge principalmente as partes superior e lateral dos edifícios, sendo este comportamento confirmado por medições em campo e modelos reduzidos (FREITAS, 2011). O comportamento da chuva dirigida condiciona o surgimento de uma parábola de molhagem, que pode ser observada na Figura 2.1, onde as cores mais escuras representam regiões com maior porcentagem de umedecimento (ZANONI, 2015; STRAUBE, 1998).



Figura 2.1 - Parábola de molhagem de fachadas de edifícios pela ação da chuva dirigida (STRAUBE, 1998)

Portanto, nota-se que a ocorrência de chuva associada à ação do vento atinge as fachadas de maneira diferenciada, de modo que as condições de exposição da envoltória da edificação influenciam na degradação e durabilidade dos elementos. Desta forma, a durabilidade das fachadas depende de um projeto que contemple requisitos de proteção aos agentes de exposição (SILVA, 2014).

### **2.3.2 Curvas de degradação**

Devido à ação do vento, chuva dirigida, radiação solar e entre outras condições as quais as fachadas das edificações estão expostas, a susceptibilidade dos seus componentes ao processo de degradação é elevada, resultando em alterações químicas, físicas e mecânicas no sistema (BAUER *et al.*, 2014; ZANONI *et al.*, 2014; KAZMIERCZAK *et*

*al.*, 2016; MADUREIRA *et al.*, 2017). Desta forma, conhecer os agentes de degradação a que a fachada do edifício está exposta é de extrema importância para a avaliação da durabilidade do sistema (EMÍDIO *et al.*, 2014; CHAI *et al.*, 2015).

As alterações das características do sistema, que são prejudiciais ao seu desempenho, podem ser numericamente mensuradas por meio de indicadores de degradação capazes de representar a condição de degradação de uma fachada (FLORES-COLEN *et al.*, 2004; TRINIUS & SJÖSTRÖM, 2005; FLORES-COLEN *et al.*, 2009). A partir daí, para que se torne possível determinar a vida útil do sistema, os indicadores de degradação são relacionados ao tempo, dando origem as chamadas curvas de degradação (SHOET *et al.*, 1999; GASPAR & DE BRITO, 2008).

A queda de desempenho dos elementos pode ser resultante da sobreposição de um ou mais mecanismos de degradação, de modo que as diferentes ações se misturem e se influenciem mutuamente. A fim de suplantarmos a complexidade deste sistema, Shoet (1999) propôs que se considerem bandas de variação para cada ação de degradação, em vez de curvas simples, refletindo deste modo a variabilidade estatística dos fenômenos reais (GASPAR & DE BRITO, 2005a). As curvas de degradação (Figura 2.2) podem ser dos seguintes tipos (SHOET, 1999; SIEMES, 2001; GASPAR & DE BRITO, 2005a; SOUZA, 2016).

- Linear: correspondem as ações de agentes permanentes, como os agentes atmosféricos (radiação solar e o vento) e representam perda constante de capacidade funcional.
- Côncava: corresponde a ações de degradação de rápido desenvolvimento inicial, mas cujo potencial de degradação tende a diminuir no tempo. São os casos da ação de microrganismos e ocorrência de eflorescências.
- Convexa: corresponde a ações de degradação de lento desenvolvimento inicial, mas cujo potencial de degradação tende a aumentar com o tempo. Corresponde a ações de degradação relacionadas com fenômenos físicos e químicos.
- S: corresponde a fenômenos que se manifestam nas primeiras idades, se estabilizam, mas, ao longo do tempo, voltam a atuar e passam a apresentar uma deterioração mais profunda e de rápido desenvolvimento.
- Discreta: corresponde a ações que não conseguem ser expressas por funções contínuas, podendo ocorrer em qualquer momento da vida útil do material. Caracteriza-se pela

presença de patamares de degradação, que representam um intervalo de tempo em que o fenômeno é interrompido de forma espontânea ou aleatória.

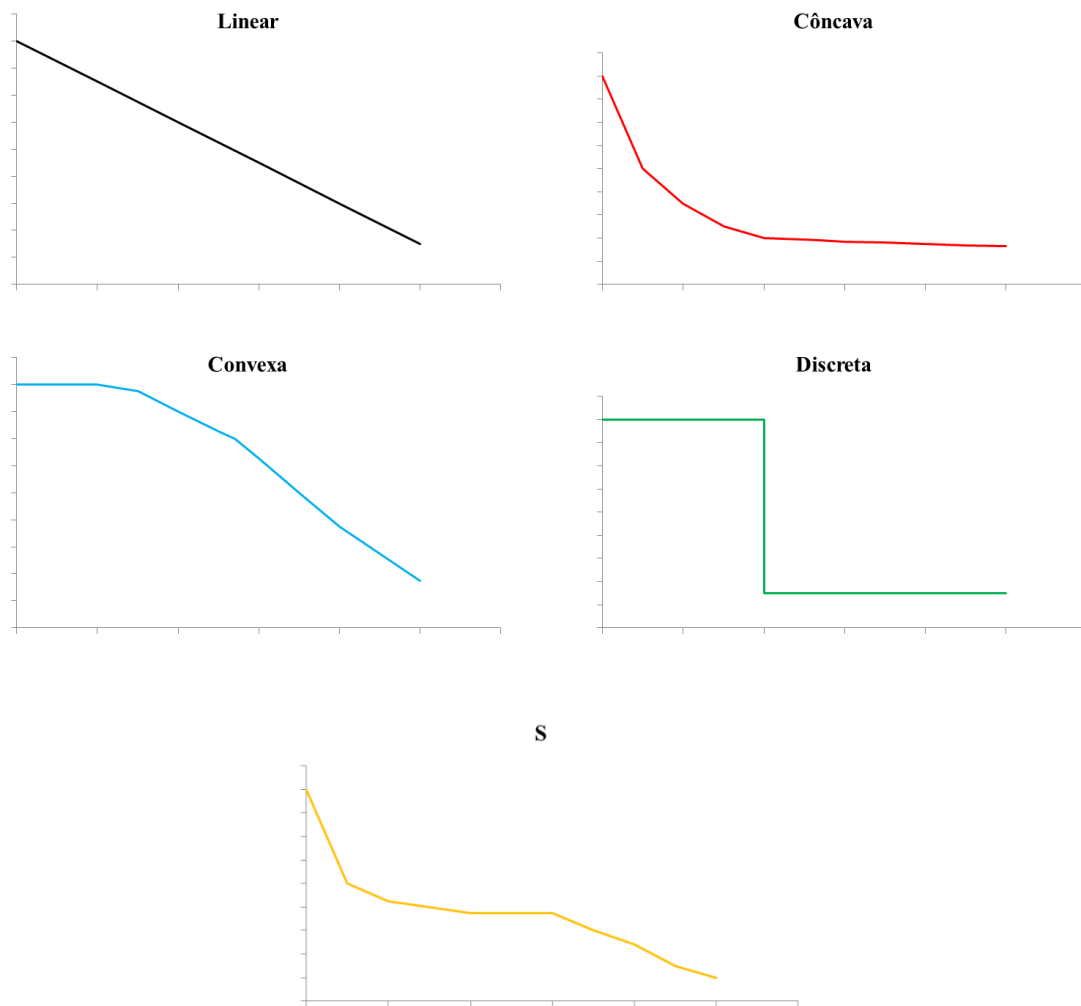


Figura 2.2 – Tipos de Curva de Degradação

O principal objetivo das diferentes curvas de degradação apresentadas é refletir o desempenho das fachadas ao longo tempo. Essas curvas podem ser obtidas por meio da regressão dos quantitativos de degradação, tornando possível determinar os fatores que melhor representam o comportamento da degradação ao longo do tempo (SHOET, 1999; SILVA, 2014; SILVA *et al.*, 2016).

Exemplos de trabalhos realizados dentro deste escopo são apresentados a seguir.

- a) **Galbusera (2013) e Galbusera *et al.* (2014b):** na Figura 2.3 são ilustrados os resultados de severidade ao longo do tempo encontrados nos trabalhos de Galbusera (2013) e Galbusera *et al.* (2014b). Os autores realizaram tratamento

dos dados obtidos a fim de obter melhor correlação dos resultados e aumentar o coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

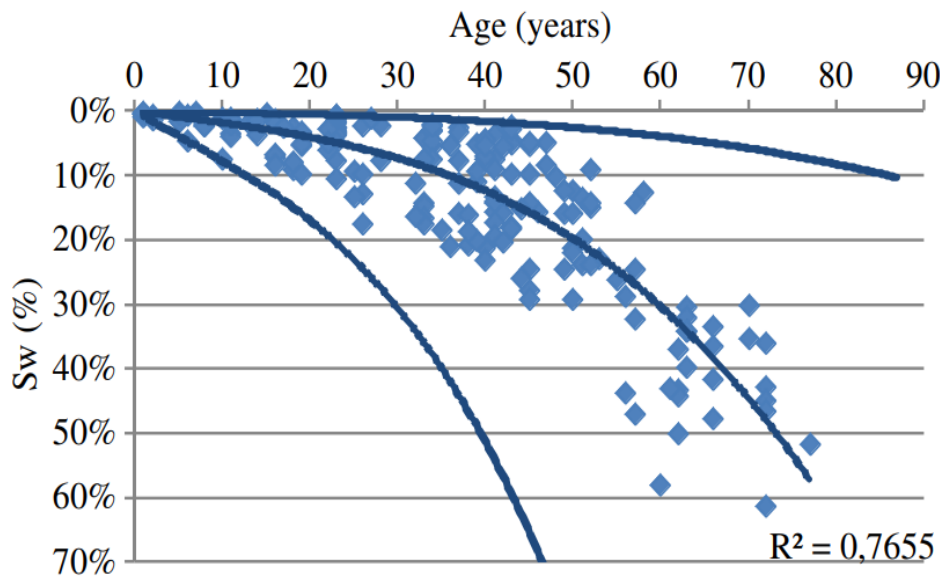


Figura 2.3 - Exemplo de curva de degradação (Galbusera, 2013)

As curvas de Galbusera (2013) mostram a evolução global da degradação dos revestimentos cerâmicos das paredes externas (limites superior e inferior) com curvas no formato convexo e  $R^2$  (0,7655) bastante elevado.

- b) Souza (2016):** a fim de representar a tendência do comportamento da degradação e estimar a vida útil de amostras de fachadas de edifícios localizados em Brasília, a autora apresentou uma curva com base na evolução do indicador de degradação Fator Geral de Danos (FGD) no tempo, conforme mostra a Figura 2.4.



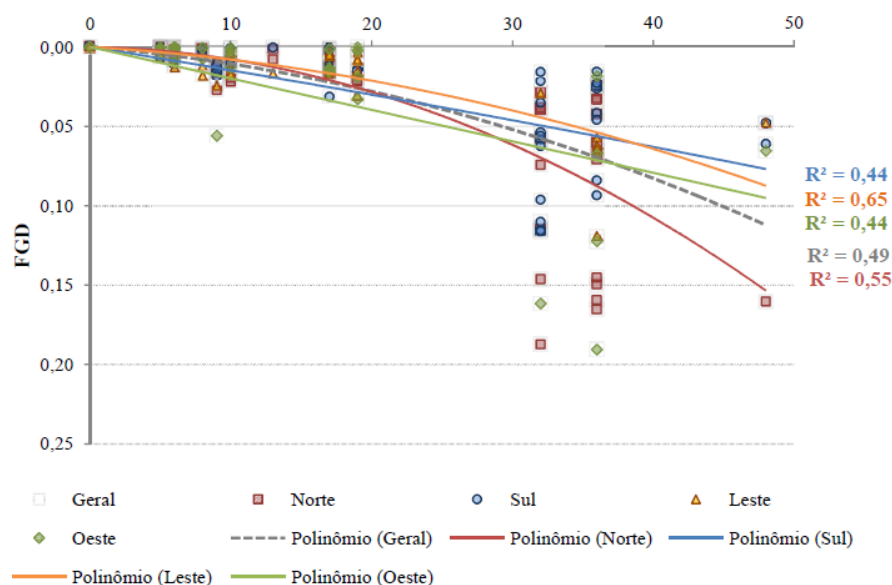


Figura 2.4 - Exemplo de curva de degradação (Souza, 2016)

As curvas de Souza (2016) apresentam formato convexo e mostram a evolução global da degradação dos revestimentos cerâmicos para as diferentes orientações das fachadas.

## 2.4 Anomalias em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachadas

São diversos os mecanismos e fatores que acarretam no aparecimento de anomalias em sistemas de revestimento cerâmico de fachada. Neste contexto, preocupa não só os ciclos de umedecimento e a secagem do sistema de revestimento, como também as mudanças químicas e físicas na estrutura, causadas pela ação complexa da umidade, mudanças de temperatura, radiação e formação e transferência de sais. As anomalias observadas em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas são detalhadas a seguir.

### 2.4.1 Descolamento cerâmico

O descolamento das placas cerâmicas caracteriza-se pela ausência de contato entre o revestimento cerâmico e a argamassa de emboço ou colante. O descolamento caracteriza-se, portanto, pelo afastamento das placas cerâmicas de sua base de ancoragem, caracterizando uma perda de aderência.

Geralmente, esta anomalia é iniciada pela formação de pequenos trechos que perdem a ancoragem, que vão se propagando e tornando o sistema de revestimento estruturalmente instável. É comum que ao acontecer uma chuva forte ou uma incidência

muito grande de radiação solar, os trechos sem ancoragem se interliguem e ocorra a queda do revestimento, que é normalmente localizada em pontos específicos da fachada (ANTUNES, 2010). Todavia, o descolamento cerâmico não implica obrigatoriamente na queda imediata do revestimento. As placas muitas vezes encontram-se unidas umas às outras pelo rejunte, de modo que evitam a queda do revestimento cerâmico.

O descolamento cerâmico raramente está associado a uma única causa, mas sim a um conjunto delas (SILVA *et al.*, 2016). As causas do descolamento são, portanto, bastante particulares a cada situação e estão associadas, dentre outros, à movimentação excessiva do edifício, à expansão por umidade e dilatação térmica das placas cerâmicas, aos erros de especificação e execução de argamassa colante e à falta de manutenção (FLORES-COLEN *et al.*, 2010). A incompatibilidade das propriedades de resistência dos materiais constituintes do sistema de revestimento faz com que o sistema não resista às tensões que excedem a capacidade de aderência entre as camadas (GASPAR & DE BRITO, 2008; GASPAR, 2009; BORDALO *et al.*, 2010).

#### **2.4.2 Fissura**

Todas as edificações apresentam movimentações ao longo da sua vida útil. A maior parte destes movimentos é decorrente das seguintes causas: ações de natureza física ou química, como a variação de temperatura e umidade e os fenômenos de corrosão, carbonatação e oxidação; causas macro-estruturais, como deformações da base e recalques de fundação, fluência de elementos portantes, cargas e sobrecargas de utilização; causas de projeto ou execução, como ausência ou subdimensionamento de vergas e contravergas, desrespeito do tempo de espera entre as camadas do sistema de revestimento, dosagem ou preparo inadequado da argamassa, excesso de desempenho da argamassa, falhas de aderência ao substrato, entre outros (GASPAR *et al.*, 2007; SANTOS, 2017).

Quando estas variações geram tensões que ultrapassam a capacidade resistente dos elementos que compõem o sistema, eles tendem a fraturar. As descontinuidades ou fraturas originadas destas variações são denominadas fissuras (SANTOS, 2017). Conforme a ABNT NBR 15575-2 (2013), as fissuras podem ser definidas como um seccionamento na superfície ou em toda seção transversal de um componente, com abertura capilar, responsável por causar tensões normais ou tangenciais.

A penetração de agentes externos, especialmente a água, por meio das fissuras, pode acarretar outras anomalias, tais como manchas, eflorescências, falha de rejunte e até mesmo o descolamento cerâmico. O seu surgimento no revestimento merece especial atenção uma vez que atinge, não somente o aspecto visual da edificação, mas também o conforto e a salubridade (ANTUNES, 2010).

### **2.4.3 Falha de rejunte**

A falha de rejunte é caracterizada pelo surgimento de lacunas no rejunte entre as placas cerâmicas. Sua ocorrência está geralmente associada à ação de intempéries ao longo do tempo, principalmente a fadiga por ciclagem higrotérmica, a infiltração e o envelhecimento da resina, erros de especificação, uso e aplicação do rejunte (SARAIVA, 1998; ANTUNES, 2010; SOUZA, 2016).

A falta de capacidade do rejunte para absorver as deformações do sistema pode induzir o aparecimento de fissuras e aberturas que permitem o ingresso de umidade no sistema de revestimento, reduzindo sua capacidade de atender aos requisitos necessários quanto à estanqueidade.

### **2.4.4 Eflorescência**

A eflorescência consiste da alteração da superfície do revestimento resultante da precipitação de sais minerais solúveis em água (ABERLE *et al.*, 2007). É um fenômeno geralmente não causa falhas significativas, mas que leva a danos de ordem estética. Devido ao fato de afetar, principalmente, a aparência da superfície, é considerada uma anomalia primária (ANTUNES, 2010; SOUZA, 2016).

Seu aparecimento está diretamente associado ao teor de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes, a presença de água e a diferença de pressão hidrostática para propiciar a migração da solução para a superfície. Para que este fenômeno se manifeste é imprescindível que as três condições coexistam (UEMOTO, 1988). O umedecimento da fachada por longos períodos de tempo permite que alguns sais solúveis, presentes na argamassa ou bloco, se dissolvam e depositem nos poros dos materiais, saturando-os. Posteriormente estes sais são levados para a superfície por difusão e evaporação, resultando em um depósito salino na superfície, que normalmente, apresenta coloração esbranquiçada (BAUER *et al.*, 2007)

A cristalização de sais no interior dos poros dos componentes do sistema pode induzir o surgimento de falhas no sistema, desencadeando outras anomalias como as fissuras ou o descolamento cerâmico (BORDALO *et al.*, 2011; SOUZA & BAUER, 2016).

## 2.5 Método de Mensuração de Degradação (MMD)

Uma sistematização das inspeções técnicas de edifícios foi proposta por Bauer e Castro (2007), apresentada por Antunes (2010) e descrita por Silva (2014) conforme quatro fases: investigação documental, investigação de campo, ensaios e mapeamentos de danos da fachada. Ao conjunto de investigação e procedimentos de análise deu-se o nome de Método de Mensuração de Degradação (MMD) e as etapas e observações podem ser vistas a seguir.

A investigação documental consiste no levantamento do máximo de informações técnicas a respeito do edifício. Detalhes do sistema construtivo e estrutural, tipo de revestimento, projetos estrutural e arquitetônico, além de informações sobre a região, orientação das fachadas, histórico de manutenção e nível de exposição às intempéries.

A investigação de campo, por sua vez, é a etapa que engloba as vistorias *in loco* e a realização de inspeções visuais detalhadas. O registro fotográfico da área de amostragem é primordial. Nesta fase o uso de binóculos e câmera fotográfica de alta resolução, além de possibilitar a composição de uma boa amostragem, é essencial para a precisão na identificação das anomalias. Deve-se ainda identificar as camadas e suas respectivas espessuras, bem como os agentes de degradação.

Os ensaios são realizados com o objetivo de determinar características comportamentais e propriedades do revestimento, que auxiliem no entendimento do mecanismo de ocorrência das anomalias e na identificação da estabilidade mecânica da fachada. Nesta etapa podem ser feitos ensaios de absorção e gretamento, aderência à tração (*pull-out in loco*), ou ainda ser empregada a inspeção com termografia de infravermelho. Esta técnica, que permite realizar medições sem contato, à distância, mapear áreas, facilita a identificação de defeitos e permite o acompanhamento sistemático de anomalias invisíveis ao olho por meio de padrões identificados nos termogramas (PEDRA, 2011; PAVÓN, 2017; AIDAR, 2019; MILHOMEM, 2019).

Durante a etapa de mapeamento dos danos a degradação é identificada. As fachadas são divididas em amostras e seus respectivos danos visíveis são registrados em um croqui

esquemático. O mapeamento é feito por zonas das fachadas, destacando a ocorrência de anomalias, com o intuito de quantificar a incidência de defeitos.

Uma vez que os índices de degradação são calculados por meio da razão da área afetada pelas anomalias, pela área total da amostra de fachada, áreas totais muito grandes ou pequenas podem levar a resultados não representativos do dano. Desta forma, para a análise de um edifício por meio do MMD é necessário que as fachadas sejam divididas em trechos de menor área, denominados por amostras. Este procedimento é realizado para que se trabalhe com faixas de menor extensão, criando amostras mais homogêneas para facilitar a avaliação. As áreas são estudadas individualmente para a contabilização de seu nível de degradação (SOUZA, 2016; PINHEIRO, 2016). Um exemplo da divisão da fachada em amostras pode ser visto na Figura 2.5 e as instruções para a divisão das amostras podem ser vistas na Tabela 2.2.

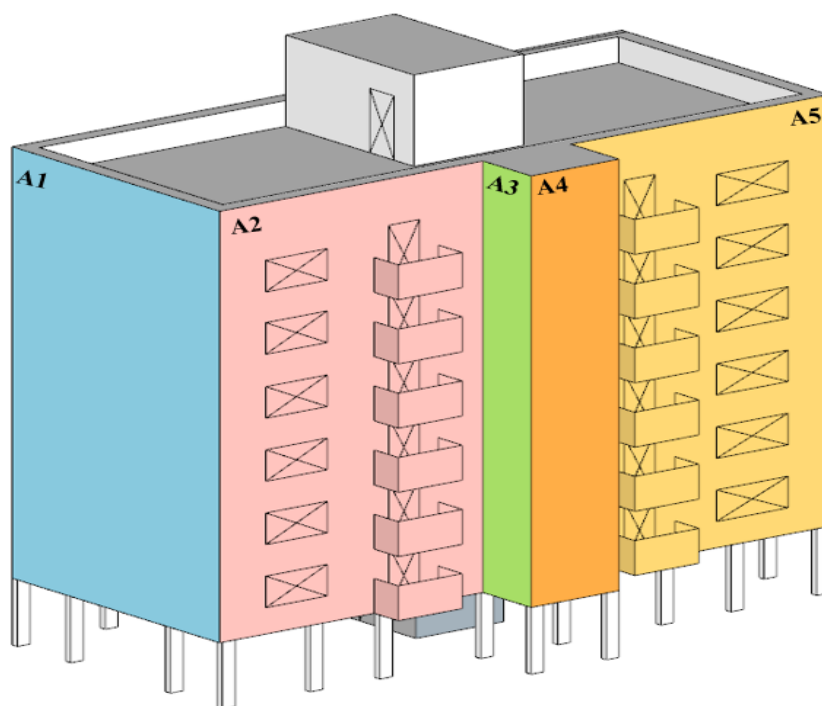


Figura 2.5 - Divisão da fachada em amostras

Tabela 2.2 – Instruções para divisão das amostras de fachadas

<b>Onde fazer a divisão</b>	Em juntas de movimentações verticais.
	Em descontinuidades.
	Em caso de a fachada ser interrompida por reentrâncias ou por uma quebra no plano de avanços.
<b>Instruções para a divisão das amostras</b>	Uma amostra não deve apresentar diferenças de orientação em sua área.
	Áreas revestidas sobre elementos não habitáveis acima da cobertura devem ser divididas em suas próprias amostras, que terão suas áreas inteiramente consideradas zona de topo na fase de mapeamento. É o caso caixas d'água, casas de máquinas de elevadores, depósitos de materiais, cercado de jardins, entre outros.
	Na existência de uma caixa de escada deve-se dividir os lados da caixa em amostras diferentes, assim como em outros planos que causem uma descontinuidade em um dos lados do edifício.
	Caso exista uma reentrância no edifício que se estenda por todos os andares, deve-se dividir as fachadas nessa região em amostras diferentes, de acordo com as suas orientações.
	Elementos revestidos do prédio que se projetam para fora do plano das fachadas, como sacadas, devem ter os seus lados contabilizados em amostras.
<b>Nomenclatura</b>	Para a identificação de cada amostra do edifício adota-se um prefixo "A", seguido de um número para identificar o edifício inspecionado, um ponto e, por fim, o número da amostra da fachada inspecionada. (Ex.: A1.4)

As fachadas são diferenciadas por tipo de elemento construtivo, conforme a Figura 2.6. São eles: empenas, que são as fachadas laterais do edifício; prumadas, como a linha de fechadas frontais ou traseiras de uma construção; e caixas de escada.

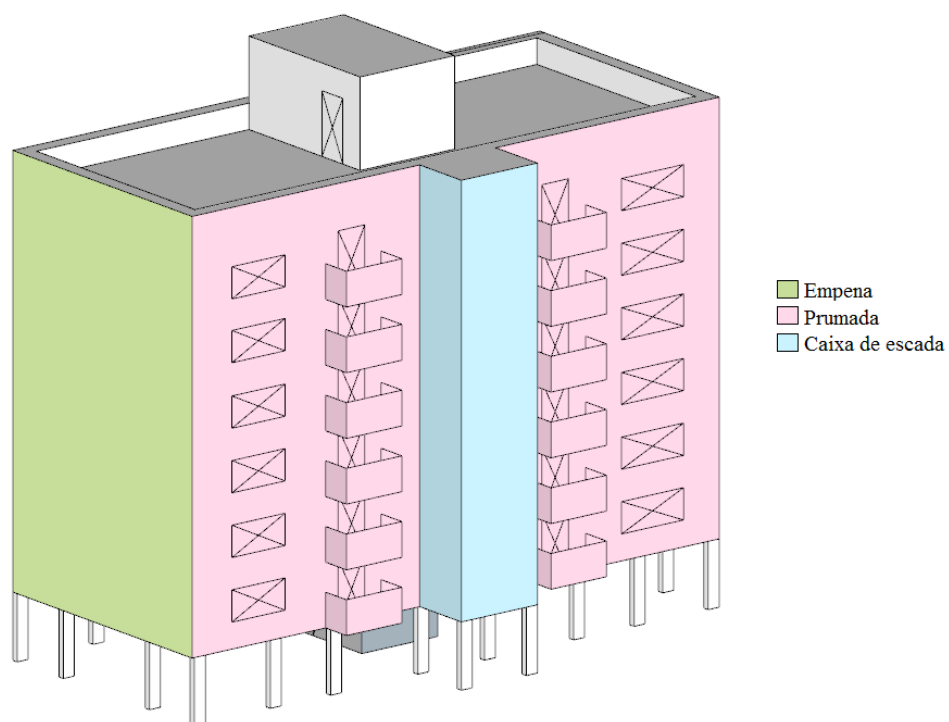


Figura 2.6 – Exemplos dos tipos de elemento construtivo

Após a execução da amostragem, as áreas danificadas são demarcadas e quantificadas, de modo a mensurar a degradação de cada amostra de fachada. Com base nos estudos anteriormente desenvolvidos, efetuou-se uma padronização dos procedimentos para a quantificação de danos conforme Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Etapas para a quantificação de danos via MMD

<b>Etapa</b>	<b>Procedimento</b>	<b>Referência</b>
<b>Sobreposição da malha sobre as amostras</b>	Sobrepor uma malha com unidades nas dimensões de 0,50m x 0,50m, equivalente a uma área de 0,25 m <sup>2</sup> sobre a amostra, partindo do ponto inferior esquerdo do mapeamento.	SILVA, 2014; SOUZA, 2016
<b>Divisão da malha por andares e por zonas</b>	Após a sobreposição da malha às amostras, dividir a fachada por andares e, em seguida, cada unidade deve ser classificada em zonas, que serão determinantes nos cálculos dos índices de degradação. Esta divisão permite a verificação da intensidade e/ou gravidade da degradação da fachada em análise, associada à importância das zonas incidentes e sua frequência de ocorrência.	SILVA, 2014; SOUZA, 2016; PINHEIRO, 2016
<b>Contabilização dos danos e preenchimento da ficha de quantificação</b>	Definida qual zona cada unidade de malha representa, deve-se avaliar a presença de descolamento de peças cerâmicas (DC), falha de rejunte (FR), fissuração (FI) e eflorescência (EF) e realizar a contagem das unidades de malha com anomalias em cada amostra de fachada. Preencher a Ficha de Quantificação (FQ), registrando informações de identificação e também, a partir uma contagem simples de unidades de malha, o valor da área da total e da área danificada, de forma a classificar o tipo, o andar e a zona do dano identificado (Figura 2.7).	SOUZA, 2016



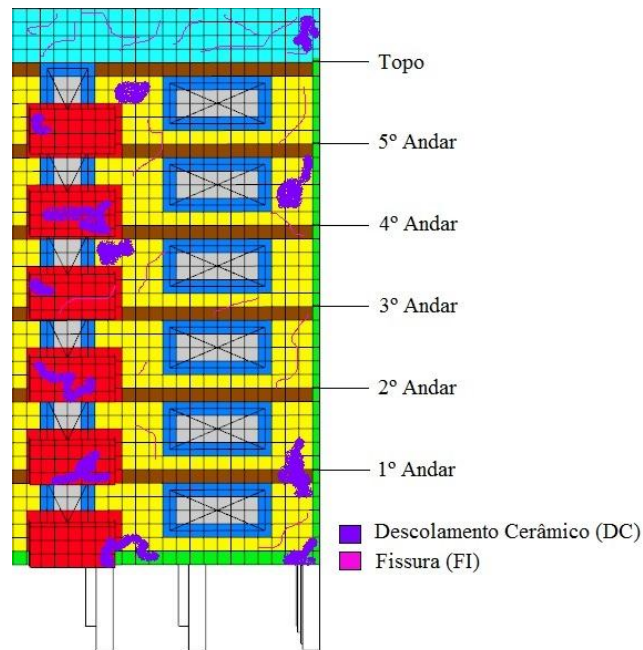


Figura 2.7 – Esquema ilustrativo da sobreposição de malha e registro de anomalias

Com interesse em identificar em quais áreas da fachada existe maior frequência de aparecimento de anomalias, baseada nas classificações de Gaspar e de Brito (2005b), Antunes (2010) e Silva (2014), Souza (2016) classificou as fachadas em seis zonas (Figura 2.8), são elas: Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO).

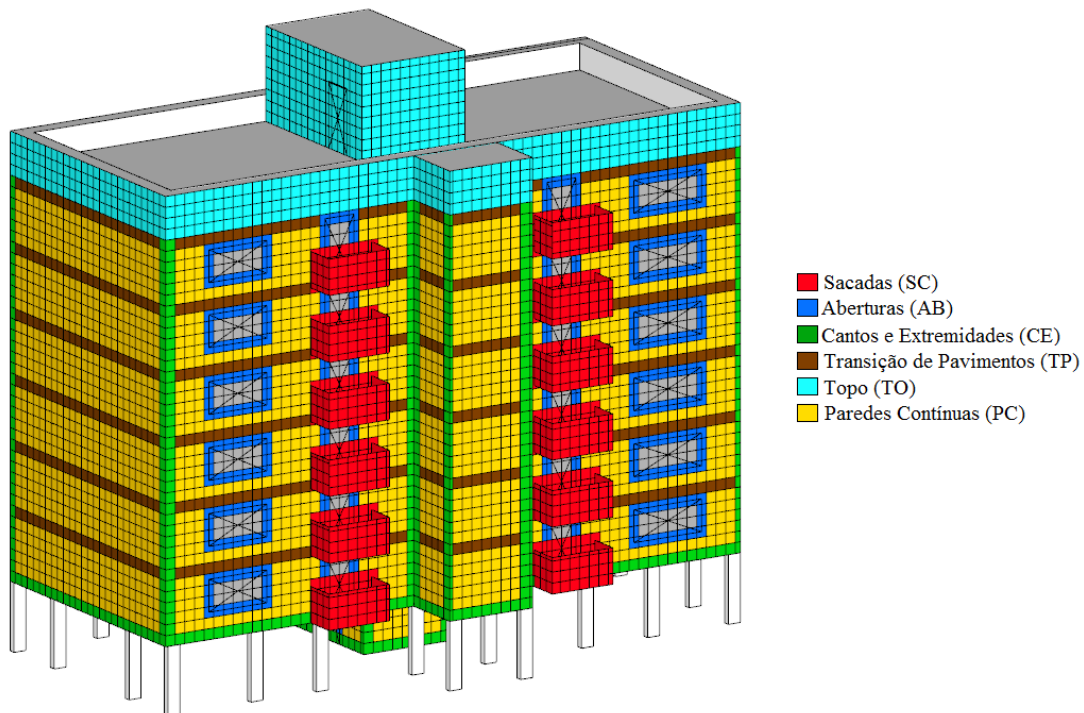


Figura 2.8 – Exemplo de edifício com malha sobreposta e divisão em zonas

A definição e as especificações para a identificação e classificação das zonas podem ser vistas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Definição das zonas das fachadas

<b>Zona</b>	<b>Definição</b>	<b>Classificação</b>	<b>Observação</b>
<b>Sacadas (SC)</b>	Áreas de paredes que se sobressaem do plano de fachada.	Unidades diretamente sobrepostas à guarda-corpos e parapeitos de sacadas em balanço, unidades sobre marquises ou outros elementos que se sobressaiam a fachada, incluindo as unidades que estiverem sobre as extremidades desses elementos. A particularidade dessa zona é o balanço do elemento do edifício.	Guarda-corpos de varandas que existirem internamente ao edifício, sem se sobressair ao plano da fachada, não são classificados nessa zona. Podem ser classificados como parede contínua e suas extremidades como cantos e extremidades, ou como outras zonas que as podem definir. Se não possuírem esquadrias não devem ser consideradas zonas de abertura.
<b>Topo (TO)</b>	Áreas acima do último pavimento	Unidades em áreas revestidas acima da laje de cobertura do último pavimento tipo. Unidades que estiverem sobre platibandas, paredes ou outro tipo de proteção, que se ergam acima da cobertura ou terraço do prédio.	Prédios escalonados, com coberturas a diferentes níveis, também devem ter unidades classificadas como topo sobre as platibandas de cada cobertura. Áreas revestidas sobre elementos não habitáveis acima da cobertura, como caixas-d'água, casas de máquina de elevadores, depósitos de materiais, cercado de jardins, entre outros, também devem ser consideradas como topo. A transição entre o último pavimento tipo e a cobertura deve ser considerada como transição entre pavimentos.

<b>Abertura (AB)</b>	Áreas em torno de janelas e portas.	Unidades de fachada que estiverem contornando aberturas, sobre as suas esquadrias, caixilhos ou extremidades.	Unidades sobre trilhos e conexões de fechamentos de vidro sobre sacadas ou varandas também são consideradas unidades de abertura. As unidades que não estiverem contornando as extremidades e estiverem sobre a parte interior das aberturas não são classificadas em nenhuma zona e não entram no somatório de área total da fachada.
<b>Transição de Pavimentos (TP)</b>	Áreas entre os andares a cada pé direito.	Unidades que estiverem diretamente sobre a divisão entre dois pavimentos sequenciais, seja essa divisão visível por juntas horizontais ou não.	Em um edifício com pilotis, a primeira linha inferior de unidades, sobre a laje do primeiro pavimento, deve ser considerada como uma zona de cantos e extremidade.
<b>Cantos e Extremidades (CE)</b>	Áreas de contorno do plano da fachada e de discontinuidades.	Unidades que estiverem diretamente ligadas as extremidades da fachada até uma unidade de distância destas. Unidades no limite de reentrâncias ou projeções, também devem ser consideradas nessa classificação.	Unidades que estiverem sobre discontinuidades no plano da fachada devem ser consideradas como em zonas de cantos e extremidades caso o elemento não esteja em balanço, como por exemplo, a transição entre a fachada e uma caixa de escadas que se estende a todos os andares do prédio.
<b>Paredes Contínuas (PC)</b>	Áreas contínuas do plano.	Unidades sobre extensões sem discontinuidades da fachada.	Unidades sobre planos contínuos de revestimentos da amostra de fachada, sem peculiaridades, que não foram classificadas em nenhuma das outras zonas. Devem ser classificadas por último.

O resultado final do MMD é o indicador de degradação Fator Geral de Danos (FGD). A partir dele e com base nas informações obtidas nas fases antecedentes, são estabelecidas hipóteses capazes de descrever os mecanismos específicos responsáveis pela origem e desenvolvimento das anomalias nas fachadas inspecionadas e emite-se o diagnóstico.

O FGD é um modelo baseado nos estudos de Gaspar e Brito (2008), Sousa (2008), Gaspar (2009) e Silva (2009) e proposto por Silva (2014) e Souza (2016), que consiste no cálculo da degradação ponderado por pesos relativos aos tipos de anomalias consideradas no processo de inspeção. Esta ferramenta possibilita, por meio de uma relação ponderada de diversos tipos de danos, estabelecer o estágio de degradação total de edifícios situados na cidade de Brasília. O Fator Geral de Danos (FGD) que é descrito pela Equação 2.1.

$$FGD = \frac{\sum(A_{d(n)} \cdot k_{nA} \cdot k_{cn})}{A_t \cdot \sum k_{m\acute{a}x}} \quad (2.1)$$

Onde  $A_{d(n)}$  é a área danificada por uma anomalia  $n$  ( $m^2$ ),  $k_{nA}$  é uma constante de ponderação das anomalias ( $n$ ) em função do nível de condição (1, 2, 3 ou 4),  $k_{cn}$  é uma constante de ponderação da importância relativa das anomalias detectadas,  $A_t$  é área total da amostra de fachada ( $m^2$ ) e  $\sum k_{m\acute{a}x}$  é o somatório das constantes de ponderação equivalente ao nível da pior condição (4 + 4 + 3 + 3 – considerando descolamento cerâmico, fissuração, falha de rejunte e eflorescência).

Além do FGD, uma análise preliminar dos dados de degradação parte da avaliação da distribuição do Fator de Danos (FD). Este fator relaciona a área de dano com a área total da amostra de fachada, o que possibilita mensurar o estado de degradação destas, fornecendo um parâmetro inicial de análise da degradação, relacionado à distribuição ou frequência ocorrência de danos. O FD é um indicador de degradação que serve como parâmetro para os estudos que estimam a vida útil e é definido de acordo com a Equação 2.2.

$$FD = \frac{\sum A_z}{A} = \frac{A_{PC} + A_{AB} + A_{SC} + A_{CE} + A_{TP} + A_{TO}}{A} \quad (2.2)$$

Onde  $FD$  é o Fator de Danos da fachada,  $\sum A_z$  é o somatório da área danificada nas zonas da amostra de fachada ( $m^2$ ) e  $A$  é a área total da amostra de fachada ( $m^2$ ).

Este indicador de degradação pode ser calculado, também, para cada uma das seis zonas da fachada, sendo denominado Fato de Danos da Zona ( $FD_z$ ), conforme Equação 2.3.

Neste caso, o indicador de degradação é capaz de representar a distribuição ou frequência de ocorrência dos danos na zona.

$$FD_z = \frac{A_z}{A} \quad (2.3)$$

Onde  $FD_z$  é o Fator de Danos da Zona,  $A_z$ , com  $z = PC, AB, SC, CE, TP, TO$ , é área danificada na zona da amostra de fachada ( $m^2$ ) e  $A$  é a área total da amostra de fachada ( $m^2$ ).

Uma vez que a degradação é mensurada em função da área afetada pelas anomalias, amostras de fachada que tenham áreas maiores tendem a apresentar maiores índices de degradação. Desta forma, Silva (2014) propôs o Fator de Danos da Zona Corrigido ( $FD_{zc}$ ), que consiste em uma correção do  $FD_z$  (Equação 2.3), ponderado pela área das zonas da fachada. Este novo parâmetro é capaz de fazer uma equivalência entre as zonas, levando em consideração a variação do tamanho da área de cada zona em uma mesma amostra de fachada.

O  $FD_{zc}$  consiste no produto entre o  $FD_z$  de cada amostra pelo Fator de Correção ( $FC$ ). O  $FC$  garante a proporcionalidade das zonas que compõem a fachada por meio da razão da área da menor zona, pela área da zona analisada, conforme a Equação 2.4.

$$FC = \frac{A_{z(m)}}{A_{z(x)}} \quad (2.4)$$

Onde  $FC$  é o Fator de Correção das zonas,  $A_{z(m)}$  é a área da menor zona da amostra e  $A_{z(x)}$  é a área da zona em análise na amostra.

Desta forma, o Fator de Danos da Zona Corrigido é escrito de acordo com a Equação 2.5.

$$FD_{zc} = \left( \frac{A_{dz(n)}}{A_t} \right) \cdot FC \quad (2.5)$$

Onde  $FD_{zc}$  é o Fator de Danos da Zona Corrigido,  $A_{dz(n)}$  é a área danificada por determinada anomalia ( $n$ ) em determinada zona da amostra,  $A_t$  é a área total da amostra e  $FC$  é o fator de correção da zona em análise.

### 2.5.1 Trabalhos Precursores na Linha de Pesquisa

Diferentes propostas metodológicas para a inspeção e avaliação da degradação de fachadas podem ser encontradas em trabalhos desenvolvidos no exterior (SHOHET *et al.*, 1999; SOUSA, 2008; GASPAR, 2009; SILVA, 2009; GASPAR & DE BRITO, 2011; SILVA *et al.*, 2012; GALBUSERA, 2013; GALBUSERA *et al.*, 2014b). Estas ferramentas e estudos apresentam, no entanto, particularidades relacionadas aos materiais de revestimento avaliados, ao tipo de edificação e, até mesmo, a cultura local. Neste sentido, a fim se estabelecer um método de avaliação das fachadas adequado à realidade de Brasília, foram dedicados esforços de diferentes pesquisadores (ANTUNES, 2010; SILVA, 2014; SOUZA, 2016; SANTOS, 2018; AIDAR, 2019; MILHOMEM, 2019) da Universidade de Brasília – UnB, dentro do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC).

Os métodos de obtenção de informação e os procedimentos de inspeção empregados nas pesquisas que precedem este trabalho foram concebidos a partir de um sistema de catalogação de informações, produzido por diferentes pesquisadores da Universidade de Brasília, que têm coletado informações de edifícios em condições reais de uso e exposição há mais de 20 anos.

Antunes (2010) apresentou uma proposta de avaliação de fachadas e diagnóstico de anomalias. Por meio de uma metodologia sistemática e prática, o trabalho contribui com o estudo das anomalias, enfatizando a importância dos procedimentos de inspeção para o entendimento dos mecanismos de degradação, associando-os com as orientações e zonas de maior probabilidade de ocorrência em uma fachada.

Contemplando um estudo de 7 edifícios, a pesquisa permitiu constatar como anomalias de maior ocorrência o descolamento cerâmico e as falhas de rejunte. Destacaram-se como áreas mais críticas para a incidência destes danos o entorno das aberturas e as paredes contínuas. O descolamento cerâmico foi o dano com maior ocorrência em todos os edifícios estudados, com maior incidência na zona de paredes contínuas. Relações entre a orientação e a quantidade de danos existente nas fachadas não puderam ser estabelecidas (ANTUNES, 2010; BAUER *et al.*, 2011).

Um avanço metodológico do método de avaliação das fachadas, com adaptação de uma ferramenta que vem sendo aperfeiçoada por Gaspar e Brito (2008), Sousa (2008) e Gaspar (2009) foi estabelecido por Silva (2014), a fim de avaliar a evolução das

anomalias e sua influência no desempenho e vida útil das fachadas. Silva (2014) apresentou um procedimento de quantificação das anomalias, além de uma proposta de modelo de cálculo da degradação e vida útil das fachadas de edifícios. O estudo consiste na sistematização do mapeamento e quantificação de danos em uma amostra de 12 edifícios, localizados em Brasília, com fachadas revestidas com elementos cerâmicos e com idades entre 5 e 36 anos.

Para a análise final, Silva (2014) aplicou três modelos de quantificação da degradação, graficamente representados por curvas de degradação de fachadas. Os modelos dão ênfase na influência da idade e orientação das fachadas, e são baseados em modelos já validados por Gaspar e Brito (2008), Sousa (2008) e Taguchi (2010). O FGD foi estabelecido como modelo padrão de cálculo para verificação de degradação e vida útil de fachadas com até 60 anos de idade.

Os resultados encontrados por Silva (2014) evidenciaram elevado FD para o descolamento cerâmico, resultado similar ao de Antunes (2010). Os danos ocorreram com maior intensidade na transição de pavimentos e com valores mais elevados nas fachadas Oeste e Norte, principalmente em idades superiores a 30 anos. O FGD representou de forma eficiente degradações mais elevadas nas orientações Oeste e Norte.

Souza (2016) conseguiu constatar em seus resultados a influência da idade, orientação e dos elementos de arquitetura das fachadas. Por meio do FD foi observada uma elevada incidência de descolamento cerâmico nas fachadas em geral, resultado similar ao de Antunes (2010) e Silva (2014). A orientação das fachadas contribuiu para a incidência das anomalias, entretanto, não se conseguiu estabelecer qualquer relação com o tipo de anomalia corrente. A maior tendência de degradação foi detectada na orientação Norte, enquanto a menor na orientação Sul. A ponderação das áreas com o FC mostrou que as zonas de maior degradação foram transição de pavimentos e cantos e extremidades.

### 3 METODOLOGIA

Esta pesquisa se insere no contexto dos trabalhos desenvolvidos por Antunes (2010), Silva (2014) e Souza (2016) e se baseia no procedimento metodológico de avaliação da degradação de fachadas, denominado Método de Mensuração de Degradação (MMD). As amostras de fachadas estudadas nesta pesquisa fazem parte do conjunto de dados de inspeções de edifícios realizadas por pesquisadores e colaboradores da Universidade de Brasília, dentro do Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil, que têm coletado informações de edifícios em condições reais de uso e exposição há mais de 20 anos no Distrito Federal.

A metodologia de trabalho engloba quatro etapas, visando avaliar e quantificar a probabilidade de ocorrência, a frequência, a intensidade e a gravidade da degradação nas zonas componentes da fachada, de acordo com diferentes variáveis. A Figura 3.1 contempla cada uma das etapas e fases do trabalho.

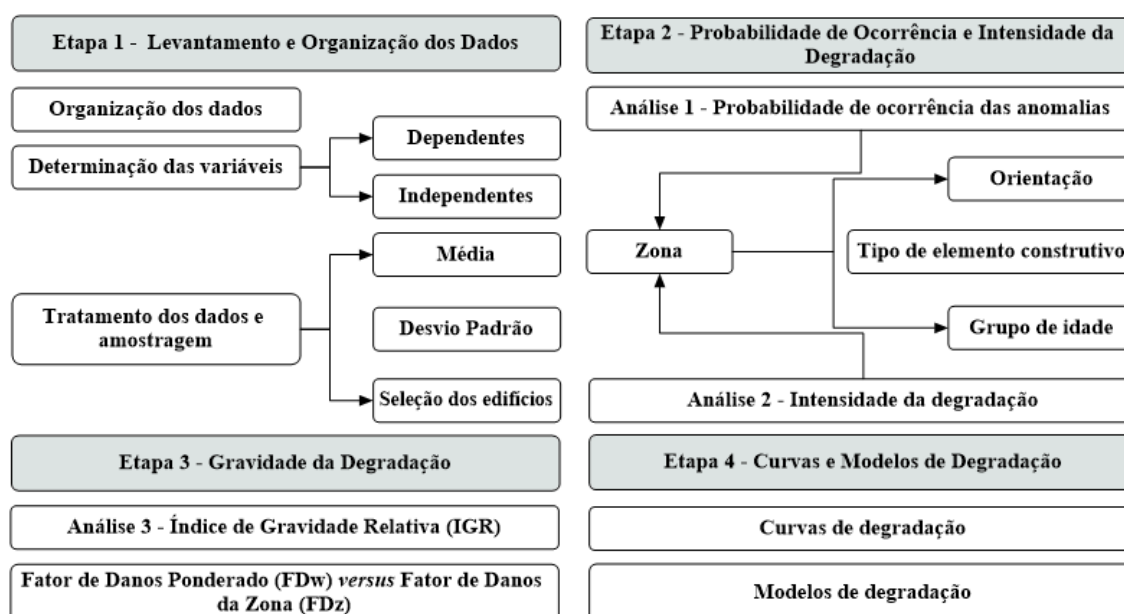


Figura 3.1 – Etapas do trabalho

#### 3.1 Etapa 1 – Levantamento e Organização dos Dados

Esta etapa compreende o estabelecimento de critérios para a definição da amostra, a seleção dos edifícios para estudo e a determinação das variáveis de estudo.



### 3.1.1 Organização dos dados e determinação das variáveis de estudo

O conjunto de dados utilizado nesta pesquisa faz parte de um sistema de catalogação de informações, que são coletadas de forma sistemática, tornando viável a quantificação da extensão dos danos em fachadas em função de diferentes fatores, como a altura do edifício (número de pavimentos), idade, tipos de elemento construtivo, cor e dimensão da pastilha cerâmica e orientação, conforme mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Exemplo da planilha de sistematização dos dados obtidos via MMD

<b>Amostra</b>	<b>Nº de Pavimentos</b>	<b>Idade</b>	<b>Elemento Construtivo</b>	<b>Cor da Pastilha</b>	<b>Dimensão da Pastilha</b>	<b>Orientação</b>
A1.1	12	6	Prumada	Clara	Média	Sul
A1.2	12	6	Prumada	Clara	Média	Sul
A1.3	12	6	Empena	Clara	Média	Leste
A1.4	12	6	Empena	Clara	Média	Oeste
A1.5	12	6	Prumada	Escura	Média	Norte
A1.6	12	6	Prumada	Clara	Média	Norte
A1.7	12	6	Empena	Clara	Média	Oeste
A1.8	12	6	Empena	Clara	Média	Oeste
A1.9	12	6	Empena	Escura	Média	Leste

A fim de avaliar a evolução e a gravidade da degradação nas zonas da fachada com base em diferentes critérios, são estabelecidas três condições de análise:

- Por orientação, buscando avaliar a influência dos agentes climáticos na degradação;
- Por tipo de elemento construtivo, visando avaliar a influência dos elementos de arquitetura no processo de degradação;
- Por idade, com o intuito de analisar como a degradação evolui com o tempo.

Com relação à quantificação da degradação das fachadas, são estabelecidos os seguintes fatores:

- Fator Geral de Danos (FGD), essencialmente empregado para o tratamento dos dados e representação da degradação global das amostras de fachada;
- Probabilidade e frequência de ocorrência das anomalias, estabelecidas como parâmetros de distribuição dos danos nas zonas;

- Fator de Danos (FD) e Fator de Danos da Zona (FD<sub>z</sub>), índices de degradação responsáveis por representar a distribuição ou frequência de ocorrência dos danos nas amostras e zonas de fachada;
- Fator de Danos Ponderado (FD<sub>w</sub>), empregado para determinar a intensidade da degradação nas zonas de fachada;
- Índice de Gravidade Relativa, responsável por indicar, de maneira quantitativa, qual zona de fachada é mais crítica em termos de degradação.

Desta forma, são estabelecidas as variáveis de trabalho apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Variáveis de estudo

<b>Variáveis Dependentes</b>	Fator Geral de Danos (FGD)
	Probabilidade e Frequência de Ocorrência das Anomalias
	Fator de Danos Ponderado (FD <sub>w</sub> )
	Fator de Danos (FD)
	Índice de Gravidade Relativa (IGR)
<b>Variáveis Independentes</b>	Orientação (Norte, Sul, Leste e Oeste)
	Tipo de Elemento Construtivo (Caixa de Escada, Prumada e Empena)
	Grupo de Idade (5 a 14 anos, 15 a 24 anos e 25 a 48 anos)

### 3.1.2 Tratamento dos dados e amostragem

Marco da arquitetura e urbanismo modernos, a cidade de Brasília foi inscrita pela UNESCO na lista de bens do Patrimônio Mundial em 7 de dezembro de 1987, sendo o único bem contemporâneo a merecer essa distinção. Diferente das cidades tradicionais, suas ruas, prédios, praças, jardins e comércio foram planejados antes de sua construção e diversos conceitos urbanísticos inovadores foram aplicados pela primeira vez em sua integralidade no mundo: superquadras, pilotis, agrupamento de atividades por setores, espaços amplos e verdes, separação do tráfego de veículos e pedestres (UNESCO, 2019; PLANALTO, 2019; DAMASCENO, 2019). Em virtude deste tipo de projeto, os

edifícios de Brasília apresentam diversas particularidades em sua arquitetura. As edificações residenciais das quadras do Plano Piloto apresentam critérios de implantação, forma e tamanho similares, em geral com altura de seis andares acima dos pilotis (BRAGA & AMORIM, 2004; SOUZA *et al.*, 2018b). Nas regiões ao redor do plano e nas cidades satélites, entretanto, é comum encontrar edificações mais altas e diversificadas. Com relação ao sistema de vedação, as alvenarias de blocos cerâmicos revestidas em cerâmica ou argamassa, com ou sem acabamento em tinta, são as mais comumente utilizadas (AMORIM & FLORES, 2005; SOUZA *et al.*, 2018b).

Os critérios para a escolha das edificações a serem estudadas nesta pesquisa são a tipologia construtiva e o tipo de material de revestimento. A uniformização da amostra é essencial para a redução do efeito de variáveis intrínsecas aos edifícios e permite o estabelecimento de padrões de comportamento comparáveis (SILVA, 2014). Desta forma, torna-se possível avaliar a influência das variáveis independentes no processo de degradação e, principalmente, observar a evolução da degradação nas zonas componentes da fachada.

O Método de Mensuração de Degradação (MMD) estabelece que as fachadas de um mesmo edifício devem ser divididas em amostras. Desta forma, a intensidade da degradação em cada uma delas pode variar, em maior ou menor grau, dependendo das condições do edifício. Para determinar quais amostras de fachadas devem ser estudadas nesta pesquisa, é feita uma avaliação do comportamento da degradação dos edifícios pertencentes ao conjunto de dados. O intuito desta avaliação é identificar as amostras espúrias que não sejam representativas da degradação nas fachadas. Para este fim, o valor do Fator Geral de Danos (FGD), dado de degradação global das amostras de fachada, é empregado como referência para a comparação do grau de degradação das amostras.

As amostras de um mesmo edifício são separadas por orientação e tipo de elemento construtivo, são calculados desvio padrão e média dos valores de FGD e elaborados gráficos como o da Figura 3.2. Além disso, como uma ferramenta auxiliar, são elaborados gráficos para as amostras que pertencem ao mesmo grupo de idade e à mesma orientação, a fim de identificar amostras de edifícios que apresentam características similares, mas respostas de degradação discrepantes entre si.

O critério adotado para a exclusão de amostras leva em consideração valores que, em módulo, são superiores a um desvio padrão em relação à média de FGD. Na Figura 3.2 são assinaladas em vermelho as amostras espúrias.

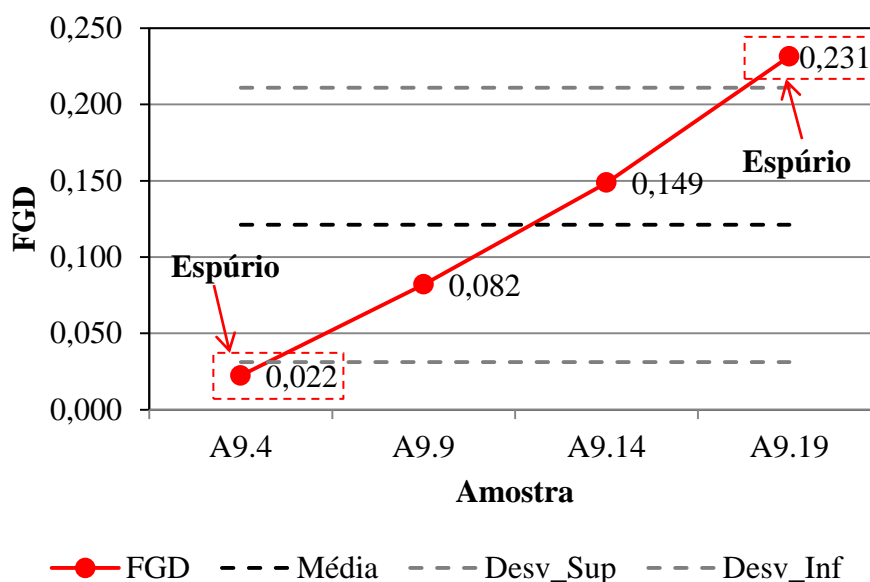


Figura 3.2 – Exemplo do critério de exclusão de amostras

O procedimento supracitado é replicado para cada um dos edifícios e, somente após a eliminação das amostras espúrias, é estabelecido o conjunto de amostras de fachada que compõem o conjunto de dados desta pesquisa.

Esta pesquisa baseia-se, portanto, no estudo de 45.517 m<sup>2</sup> de área de fachada, o que compreende 145 amostras de fachada. Os edifícios selecionados para o presente estudo apresentam sistema de vedação vertical composto por alvenaria de blocos cerâmicos, com revestimento cerâmico. Na Figura 3.3 são apresentadas as distribuições dos números de amostras de acordo com as variáveis independentes desta pesquisa.

Conforme mostra a Figura 3.3, o número de amostras é similar para as orientações Norte (42) e Sul (40), e menor em Leste (36) e Oeste (27). Com relação a variável independente tipo de elemento construtivo, a maior parte das amostras é do tipo prumada (100), o que tem relação, principalmente, com a horizontalidade dos edifícios pertencentes ao Plano Piloto de Brasília. Em termos de idade, 67 amostras do conjunto de dados apresentam idades entre 5 e 14 anos, 39 amostras têm de 15 a 24 anos e outras 39 têm de 25 a 48 anos.

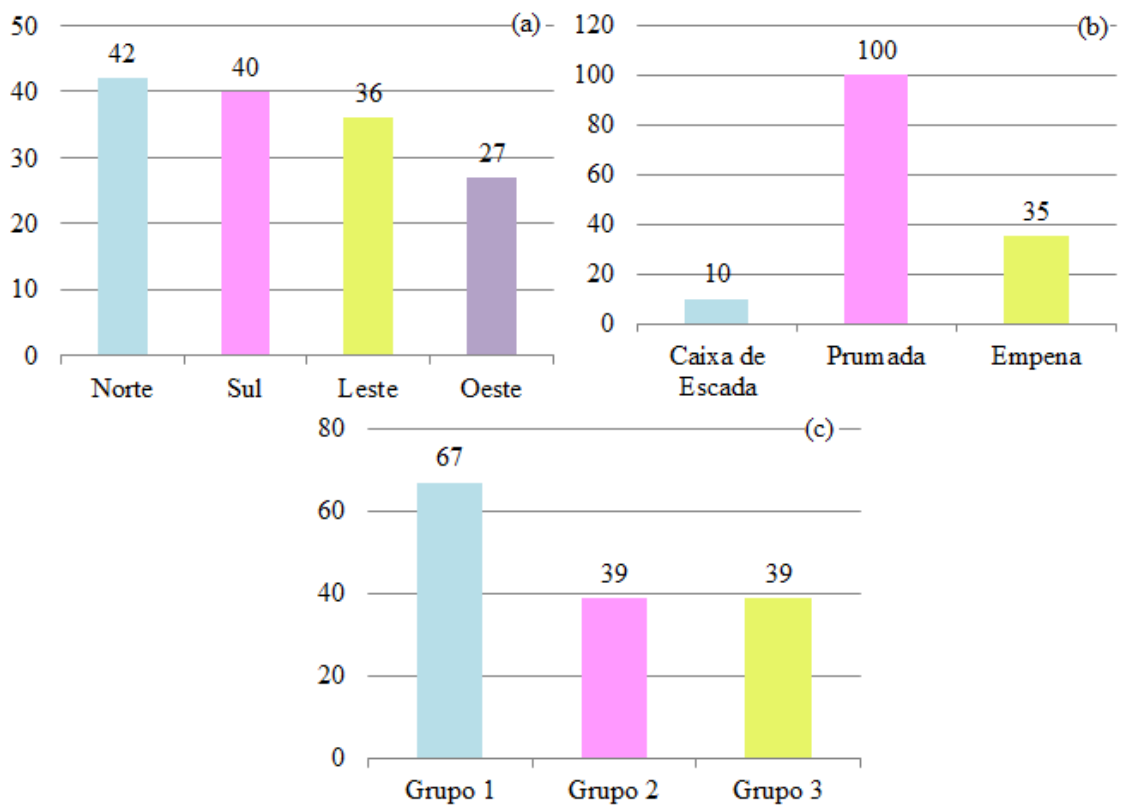


Figura 3.3 – Quantidade de amostras por (a) orientação, (b) tipo de elemento construtivo e (c) grupo de idade

As variáveis independentes apresentam diferentes padrões de distribuição do número de amostras. Esta resposta é resultado direto das condições dos edifícios estudados e também dos critérios estabelecidos para escolha da amostra. As variáveis orientação e tipo de elemento construtivo não são passíveis de controle, uma vez que variam para cada amostra de fachada, entretanto, o estudo pondera essa questão por meio do estabelecimento dos grupos de idade, capazes de unificar edifícios que têm níveis similares de degradação, sem que os resultados tenham tendências associadas à amostra.

### 3.2 Etapa 2 – Probabilidade de Ocorrência e Intensidade da Degradação

Nesta etapa, os dados obtidos e organizados na Etapa 1 são efetivamente utilizados para a determinação de padrões de ocorrência de danos. Esta fase compreende um estudo da relação das variáveis dependentes e independentes e as anomalias presentes em cada zona da fachada. Estas relações são importantes para o entendimento do comportamento da degradação das fachadas de edifícios.

Os resultados desta etapa são tabelas e gráficos que permitem identificar como os danos se distribuem, e qual sua probabilidade de ocorrência, frequência e intensidade, nas zonas de fachada, por orientação, tipo de elemento construtivo e idade. Estes valores tornam possível compreender em função de que fatores os níveis de degradação das zonas da fachada de cada edifício variam, e se existe alguma relação das variáveis independentes com a zona em que a anomalia se manifesta.

Para todas as avaliações propostas nesta etapa não são computados valores nulos (iguais à zero) de ocorrência das anomalias, uma vez que o critério proposto para as análises dos resultados se baseia em analisar os casos em que as fachadas apresentaram algum dano nos levantamentos efetuados.

A Tabela 3.3 mostra como as variáveis dependentes e independentes são associadas.

Tabela 3.3 – Associação das variáveis dependentes e independentes

<b>Probabilidade de Ocorrência (P<sub>f</sub>)</b>	<b>Total de danos</b>	<b>Por zona</b>	<b>Por orientação</b> Norte, Sul, Leste e Oeste
			<b>Por tipo de elemento construtivo</b> Caixa de Escada, Prumada e Empena
	<b>Total de dano por anomalia</b> DC, FI, FR e EF	<b>Por zona</b>	<b>Por orientação</b> Norte, Sul, Leste e Oeste
			<b>Por tipo de elemento construtivo</b> Caixa de Escada, Prumada e Empena
<b>Intensidade de degradação (FD<sub>w</sub>)</b>	<b>Total de danos</b>	<b>Por zona</b>	<b>Por orientação</b> Norte, Sul, Leste e Oeste
			<b>Por tipo de elemento construtivo</b> Caixa de Escada, Prumada e Empena
	<b>Total de dano por anomalia</b> DC, FI, FR e EF	<b>Por zona</b>	<b>Por orientação</b> Norte, Sul, Leste e Oeste
			<b>Por tipo de elemento construtivo</b> Caixa de Escada, Prumada e Empena

As combinações da Tabela 3.3 são realizadas para toda a amostra dados e também para três grupos de idade diferentes, a fim de avaliar a evolução da degradação com o tempo.

### **3.2.1 Análise 1 – Probabilidade de ocorrência das anomalias**

A probabilidade é uma medida do grau de incerteza atribuído à realização de um acontecimento, que permite estudar as chances de obtenção de cada resultado de um experimento aleatório. Os fenômenos aleatórios são aqueles cujos resultados individuais são incertos, mas para os quais se admite uma regularidade ao longo do tempo, possibilitando a obtenção de um padrão genérico de comportamento (MARTINS, 2005).

Com base na interpretação frequencista, a quantificação da probabilidade é realizada identificando a probabilidade de um acontecimento por meio da frequência relativa com que se observa este acontecimento, em uma amostra representativa da população em estudo (MARTINS, 2005). Em termos estatísticos, portanto, a estimativa da probabilidade de ocorrência de um acontecimento é realizada com base na frequência relativa, ou seja, a proporção de vezes com que um determinado resultado ocorre.

São atribuídos os números reais do intervalo entre 0 e 1, às chances de acontecimento de um determinado resultado. Quanto mais próximos de 1, maiores as chances de o acontecimento ocorrer. A probabilidade é, também, comumente representada na forma percentual, variando de 0 a 100%.

Na análise de probabilidade são levados em consideração dois termos essenciais: o espaço amostral, que é o conjunto de todos os resultados possíveis do experimento, e o evento, que é um subconjunto do espaço amostral, contendo resultados específicos. Quando o evento é igual ao espaço amostral, ele é chamado de evento certo e sua probabilidade de ocorrência é de 100%. Quando um evento é igual ao conjunto vazio, ele é chamado de evento impossível e possui 0% de probabilidade de ocorrência.

Para este trabalho considera-se como espaço amostral toda a área de dano registrada para cada zona de fachada na amostra em estudo, ou seja, área total de dano em PC, área total de dano em AB, área total de dano em CE, área total de dano em SC, área total de dano em TP, área total de dano em TO. Os eventos, por sua vez, são computados conforme as variáveis independentes para cada zona (orientação, tipo de elemento construtivo e idade). Ao quociente entre o evento e o espaço amostral, é dado o nome probabilidade de ocorrência.

A probabilidade de ocorrência frequencista é calculada conforme a Equação 3.1. E serve como parâmetro da distribuição das anomalias nas zonas da fachada.

$$P_f = \frac{A_{dz}}{A_{td}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Onde  $P_f$  é a probabilidade de ocorrência (%),  $A_{dz}$  é a área danificada na zona ( $m^2$ ), onde  $z = PC, AB, SC, CE, TP, TO$ , e  $A_{td}$  é o somatório de da área total de danos ( $m^2$ ).

Com relação ao denominador da Equação 3.1, é importante pontuar que a área total de danos ( $A_{td}$ ) pode ser calculada de duas formas distintas: para todo o conjunto de dados, considerando o somatório dos danos das 145 amostras de fachada, independente da orientação e do tipo de elemento construtivo das amostras de fachada, e para cada orientação, considerando o somatório dos danos das amostras de fachada orientadas apenas a Norte, apenas a Sul, apenas a Leste e apenas a Oeste.

A forma como a probabilidade de ocorrência é aqui calculada, corresponde ao valor para que tende a frequência relativa da realização dos diferentes eventos, avaliando uma amostra com um número considerável de repetições do fenômeno. Por este motivo, para as mesmas condições de análise, é correto afirmar que a proporção de vezes que os eventos ocorrem tende a se estabilizar.

É importante ressaltar que a área danificada na zona ( $A_{dz}$ ) é calculada conforme as condições de análise propostas. Quando não se faz a distinção da área dos danos por tipo anomalia, as áreas de DC, FI, FR e EF são somadas para as zonas, nas quatro orientações e nos três tipos de elemento construtivo, de modo que o somatório das probabilidades de ocorrência nas zonas será igual a 100%. Por outro lado, quando as áreas danificadas são separadas por tipo de anomalia para as zonas, nas quatro orientações, nos três tipos de elemento construtivo e para os três grupos de idade, o somatório das probabilidades de ocorrência nas zonas é igual à parcela correspondente à degradação pela anomalia em relação ao total de danos do conjunto de dados.

### **3.2.2 Análise 2 – Intensidade da degradação**

No estudo e avaliação da degradação de fachadas, diferentes indicadores podem ser utilizados para mensurar a área de dano associada a cada anomalia nas amostras e zonas de fachada. Neste contexto se inserem os indicadores de degradação Fator Geral de



Danos (FGD), que por meio de uma relação ponderada de diversos tipos de danos, estabelece o estágio de degradação total de edifícios. E os indicadores Fator de Danos (FD) e Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ) que, com base na razão da área danificada pela área da amostra, servem como um parâmetro de distribuição ou frequência de ocorrência dos danos na fachada.

Por outro lado, para avaliar a intensidade da degradação nas zonas, torna-se necessário empregar outro indicador de degradação, denominado por Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ). Este indicador é responsável por determinar a intensidade dos danos nas zonas da fachada, ao levar em consideração a razão da área afetada da zona pela área total da zona, em cada amostra do conjunto de dados. O  $FD_w$  é calculado de acordo com a Equação 3.2.

$$FD_w = \frac{A_{dz}}{A_z} \quad (3.2)$$

Onde  $FD_w$  é o Fator de Danos Ponderado,  $A_{dz}$  é a área danificada da zona analisada na amostra ( $m^2$ ), e  $A_z$  é a área total da zona na amostra ( $m^2$ ), onde  $z = PC, AB, SC, CE, TP, TO$ .

A escolha pelo uso do  $FD_w$  diz respeito à necessidade de se avaliar o efeito da degradação das anomalias, em relação às áreas das zonas que pertencem a cada uma das amostras estudadas, de modo que a referência passe a ser a mesma para todas as amostras, permitindo a comparação direta entre elas. O indicador de degradação ( $FD_w$ ) é calculado para cada amostra do conjunto de dados e avaliado em termos da média dos valores obtidos para cada variável independente.

Uma vez que são estudadas quatro anomalias diferentes (DC, FI, FR e EF), este indicador de degradação pode assumir valores que variam de 0, quando toda a área da zona não apresenta nenhum tipo de dano, a 4, quando toda a área da zona é afetada por todas as anomalias ao mesmo tempo. Valores de  $FD_w$  superiores a 1, portanto, indicam que na zona estudada ocorre a sobreposição da degradação de pelo menos duas anomalias ao mesmo tempo. Um exemplo de mapeamento de danos pode ser visto na Figura 3.4.

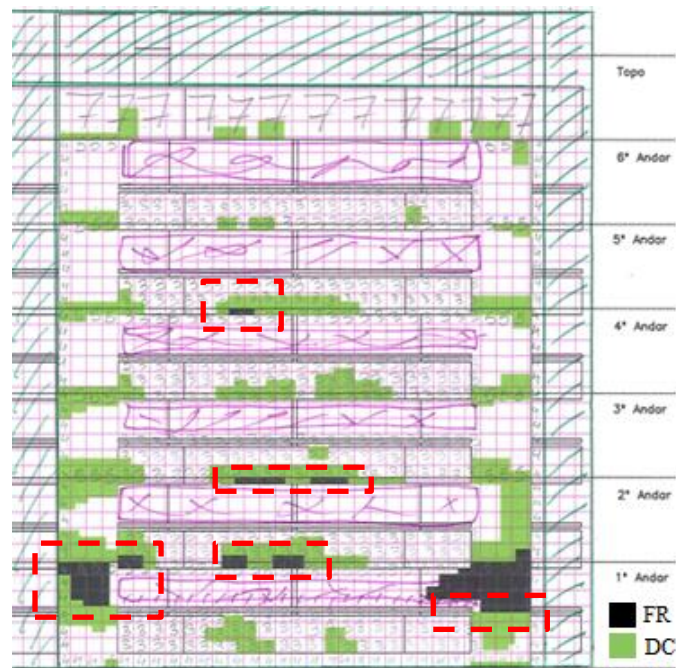


Figura 3.4 - Exemplo de mapeamento de fachada com indicação de áreas em que ocorre a sobreposição de anomalias (BAUER *et al.*, 2007; SOUZA, 2016)

### 3.3 Etapa 3 – Gravidade da Degradação

Esta etapa engloba a quantificação da gravidade da degradação nas zonas de fachada com base nos resultados obtidos nas análises 1 e 2, a fim de determinar o que é mais importante para a gravidade de uma zona, a intensidade dos danos ou sua frequência de ocorrência. Ou seja, determinar, por exemplo, se é mais grave uma amostra com fissuração intensa, mas com frequência baixa ou uma amostra com fissuração leve, mas com que acontece muito por toda a amostra. Nesta etapa também se busca avaliar a gravidade da presença de defeitos pontuais, ou seja, aqueles que têm pequenas áreas de danos distribuídas ao longo da fachada, e generalizados, aqueles que têm grandes áreas de danos concentradas em zonas da fachada.

#### 3.3.1 Análise 3 - Índice de Gravidade Relativa (IGR)

Uma fachada pode apresentar combinações de eventos de degradação de maneira variada, como por exemplo: alta intensidade e baixa frequência, baixa intensidade e alta frequência, média intensidade e baixa frequência. Sendo assim, avaliar a degradação somente pela sua intensidade ( $FD_w$ ) ou só pela sua probabilidade de ocorrência frequencista pode levar a conclusões e tomadas de decisão incorretas.

Nesta fase, para compreender com clareza o comportamento da degradação e determinar qual situação é mais grave para a edificação, a intensidade ( $FD_w$ ) e a frequência ocorrência de degradação de cada zona são investigadas em conjunto. Para quantificar estes aspectos é utilizado o Índice de Gravidade Relativa (IGR), que consiste no produto da média de  $FD_w$  pela frequência de ocorrência dos defeitos na zona.

A intensidade da degradação ( $FD_w$ ) nas zonas de fachada de todas as amostras do conjunto de dados, é classificada em quatro classes, para os três grupos de idade. Os intervalos de classe são definidos de acordo com a diferença entre o valor máximo e mínimo do  $FD_w$  para cada zona de estudo. Quanto mais elevado o número da classe, maior a intensidade de degradação da zona na amostra de fachada. Também são calculadas as frequências de ocorrência de  $FD_w$  nas zonas em cada classe, que variam de 0 a 1.

O Índice de Gravidade Relativa (IGR) é calculado para cada zona de acordo com a Equação 3.3. Quanto maior o valor de IGR, mais grave é a degradação da zona (BAUER *et al.*, 2018).

$$IGR = \overline{FD}_w(x) \cdot f_x \quad (3.3)$$

Onde IGR é o índice de gravidade relativa,  $x$  é a classe da degradação, variando de 1 a 4,  $\overline{FD}_w(x)$  é a média do indicador de degradação na classe  $x$  e  $f_x$ , variando de 0 a 1, é frequência de ocorrência na classe  $x$ .

Esta análise é efetuada para os três grupos de idade, a fim de avaliar como o comportamento da gravidade da degradação muda conforme a evolução da idade das edificações. Neste estudo, as variáveis independentes orientação e tipo de elemento construtivo não são estudadas, uma vez que suas influências podem ser melhor avaliadas, isoladamente, por meio das abordagens da probabilidade ( $P_f$ ) e da intensidade da degradação ( $FD_w$ ).

### **3.3.1.1 Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) versus Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ )**

Com o intuito de analisar mais a fundo a influência da frequência de ocorrência e da intensidade na gravidade da degradação, é realizada uma análise que relaciona o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ), conforme Equação 2.3, com o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ), conforme Equação 3.1. Estes fatores representam respectivamente frequência e intensidade da degradação.

As análises são feitas considerando quatro combinações dos fatores, adotando quatro quadrantes de valores, a saber: baixa frequência e baixa intensidade (quadrante 4), baixa frequência e alta intensidade (quadrante 3), alta frequência e baixa intensidade (quadrante 2) e alta frequência e alta intensidade (quadrante 1). O quadrante 1 representa a condição mais grave e o 4 a menos grave. Um exemplo da divisão em quadrantes pode ser visto na Figura 3.5.

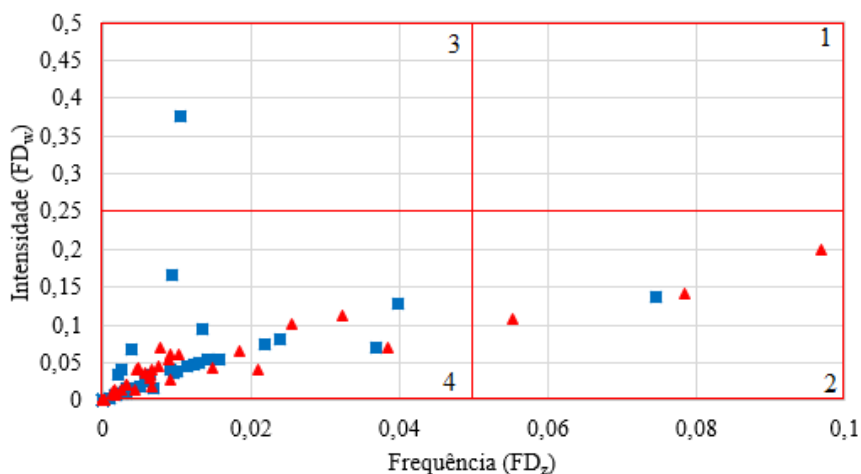


Figura 3.5 – Exemplo da avaliação em quadrantes da relação  $FD_w$  versus  $FD_z$

As extremidades dos quadrantes apresentados na Figura 3.5 estabelecem os valores limites de intensidade e frequência para cada condição de gravidade da degradação.

### 3.4 Etapa 4 – Curvas e Modelos de Degradação

#### 3.4.1 Curvas de degradação

A Etapa 4 compreende a exposição e análise das curvas de degradação referentes a amostra estudada, após o processo de tratamento dos dados. Com intuito de representar a tendência do comportamento da degradação, e possibilitar a estimativa da vida útil de amostras de fachadas de edifícios localizados na cidade de Brasília, são elaboradas curvas que mostram a evolução do indicador de degradação Fator Geral de Danos (FGD) no tempo (idade), para as diferentes orientações e tipos de elemento construtivo.

#### 3.4.2 Modelos de degradação

Nesta fase, são investigados modelos de degradação elaborados por meio de análise de regressão múltipla linear (RML), com auxílio do *software* SPSS. Esta é uma técnica

estatística determinística, geralmente empregada para prever o comportamento de uma variável dependente em função de variáveis independentes (SILVA *et al.*, 2016)

A regressão múltipla, seja ela linear ou não linear, é responsável por avaliar simultaneamente diversas variáveis, tornando possível a identificação das variáveis mais representativas do fenômeno estudado, resultando em equações com eficácia considerável (SOUZA *et al.*, 2018a).

O método é empregado para buscar relacionar o indicador de degradação da amostra, Fator de Danos (FD), com as variáveis Probabilidade de Ocorrência ( $P_f$ ), Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) e Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ), para todas a amostra e também nos diferentes grupos de idades. Os modelos, portanto, são capazes de mostrar, para cada variável estudada, quais as zonas que melhor explicam a distribuição ou frequência de ocorrência dos danos nas amostras.

A eficácia das diferentes funções é analisada por meio do coeficiente de correlação ( $R$ ), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado). O coeficiente de determinação é uma medida do ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, como é o caso da RML, em relação aos valores observados. O  $R^2$  varia entre 0 e 1, indicando o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o  $R^2$ , mais explicativo é o modelo e melhor ele se ajusta à amostra.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Avaliação Inicial do Grau de Degradação na Amostra em Estudo

A amostra em estudo compreende um total de 45.517 m<sup>2</sup> de área de fachada. As porcentagens de área com e sem degradação na amostra, bem como a porcentagem de área degradada associada a cada uma das seis zonas estudadas são apresentadas na Figura 4.1.

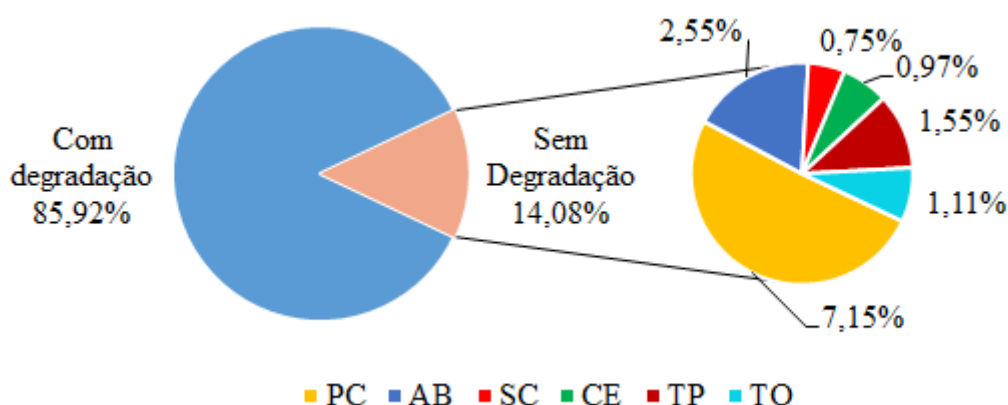


Figura 4.1 – Porcentagem de área degradada nas zonas da fachada

A área degradada abrange 14,08% da área total da amostra, o que corresponde a 6.048,25 m<sup>2</sup> de área de fachada com presença de danos. A maior parte do conjunto de dados, ou seja, os 85,92% de área restante, correspondem, portanto, a áreas de fachada em que não foram identificados indícios de degradação durante a inspeção dos edifícios. A Figura 4.1 indica, ainda, que as zonas com maior percentual de área degradada são PC (7,15%), AB (2,55%) e TP (1,55%).

### 4.2 Análise 1 – Probabilidade de Ocorrência das Anomalias

A Análise 1 compreende o estudo da probabilidade de ocorrência das anomalias descolamento cerâmico (DC), fissuração (FI), falha de rejunte (FR) e eflorescência (EF) nas diferentes zonas da fachada, considerando as variáveis independentes estabelecidas para este estudo.

#### 4.2.1 Considerações sobre as variáveis

Para as análises a seguir são levadas em consideração as áreas totais de anomalias na fachada para cada uma das variáveis de estudo. Uma breve avaliação das condições do conjunto de dados, em termos das variáveis independentes orientação, tipo de elemento construtivo e idade é apresentada a seguir.

Na Figura 4.2 são mostradas a distribuição do número de amostras, as porcentagens de área de fachada e o percentual de ocorrência de danos por orientação. A Figura 4.3 ilustra a distribuição do número de amostras, as porcentagens de área de fachada e o percentual de ocorrência de danos por tipo de elemento construtivo. Na Figura 4.4 são mostradas a distribuição do número de amostras, as porcentagens de área de fachada e o percentual de ocorrência por grupo de idade.

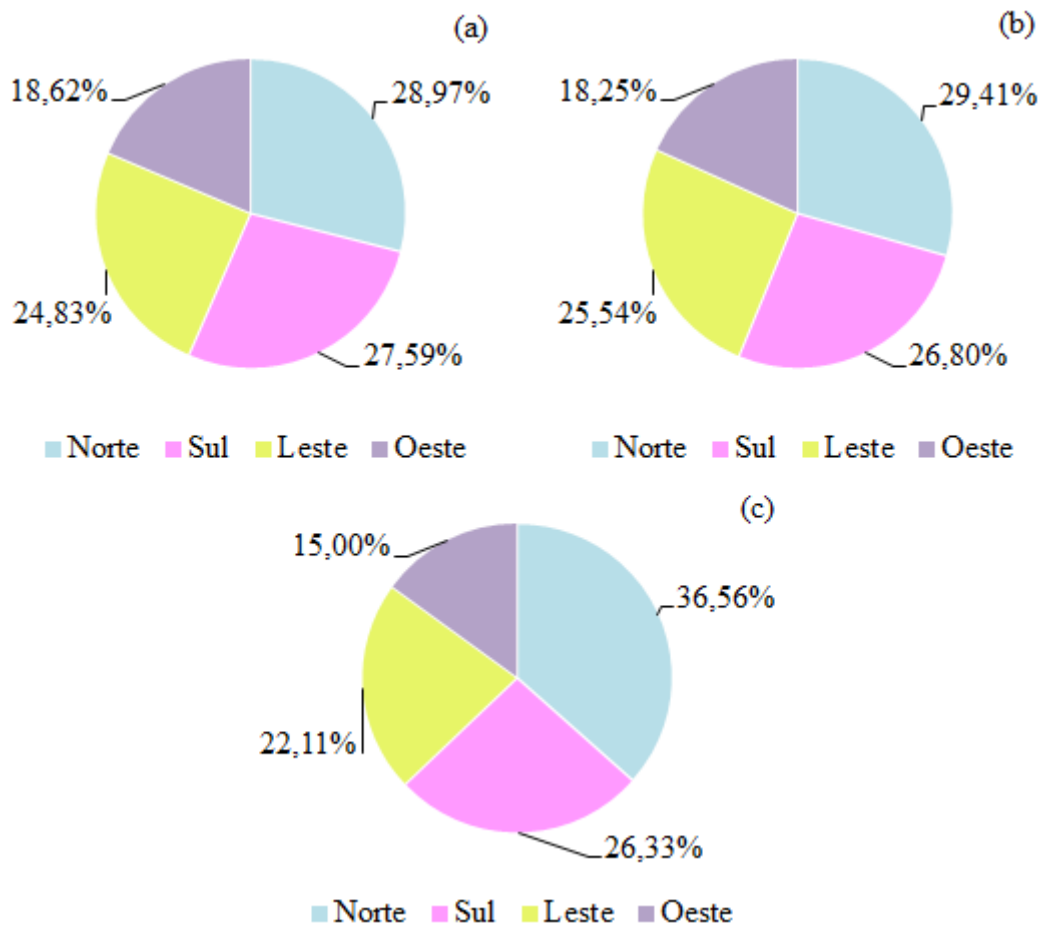


Figura 4.2 – (a) Distribuição do número de amostras por orientação; (b) Porcentagem de área de fachada por orientação; (c) Percentual de ocorrência de anomalias por orientação

Conforme mostra a Figura 4.2 as amostras inspecionadas estão bem distribuídas, com um leve predomínio do percentual de amostras nas orientações Norte e Sul. O mesmo comportamento é observado para a porcentagem de área total de fachada por orientação. Considerando estas condições da amostra, nota-se que os percentuais de ocorrência de danos seguem a mesma sequência da distribuição do número das amostras, sendo superiores para aquelas de maior área.

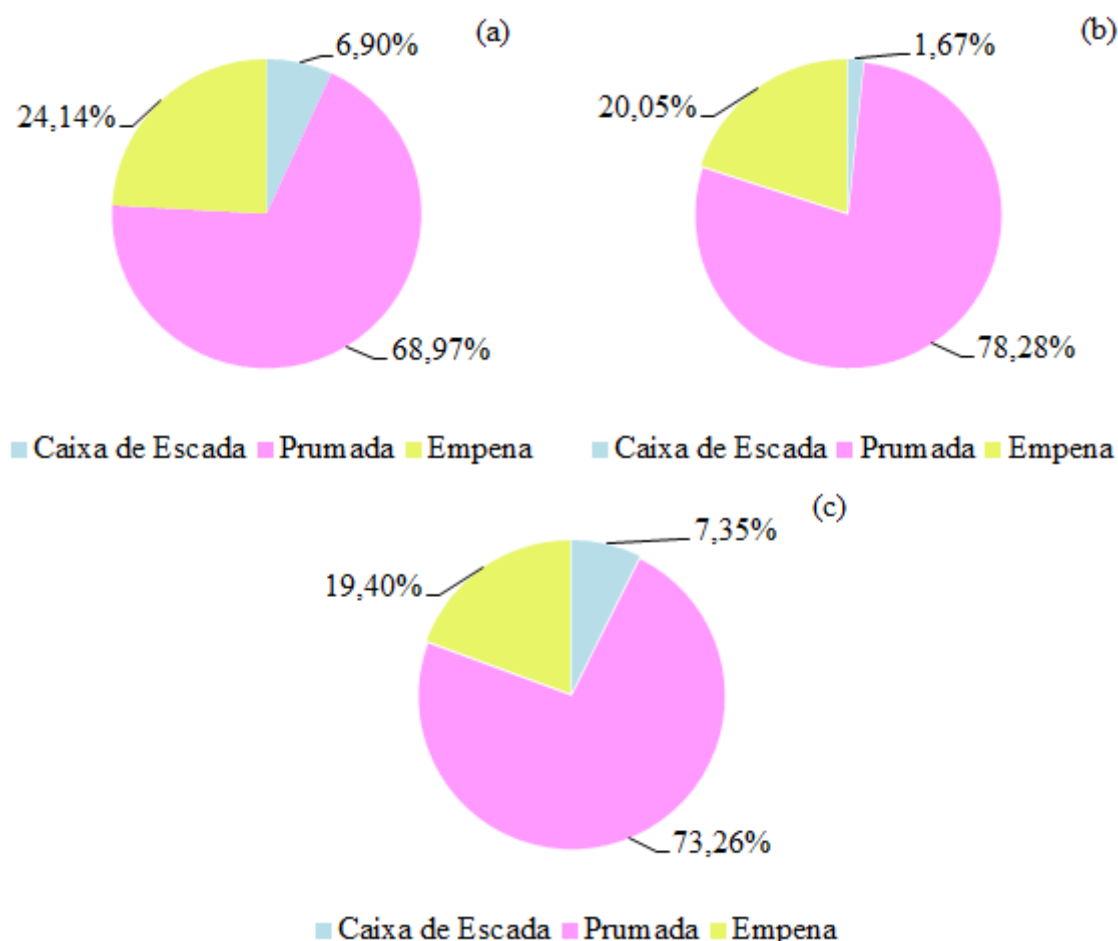


Figura 4.3 – (a) Distribuição do número de amostras por tipo de elemento construtivo; (b) Porcentagem de área de fachada por tipo de elemento construtivo; (c) Percentual de ocorrência de anomalias por tipo de elemento construtivo

A Figura 4.3 mostra que as amostras inspecionadas são, em sua maioria, de prumadas, totalizando 68,97% das amostras e compondo 78,28% da área total do conjunto de dados. Este fato se deve, principalmente, à tipologia dos edifícios do Plano Piloto de Brasília, em que predominam as prumadas. Nestas condições, o percentual de ocorrência de danos é superior para as prumadas, seguida por empenas e caixas de escada.



Nota-se na Figura 4.4 que existe um maior percentual de amostras (46,21%) de fachada no Grupo 1 (5 a 14 anos), assim como de área de fachada (54,46%). O Grupo 2 (15 a 24 anos) apresenta um percentual intermediário de amostras (26,90%), mas apresenta, entretanto, a menor percentagem total de área de fachada (11,64%). O Grupo 3 (25 a 48 anos), por sua vez, tem uma percentagem intermediária de área de fachada (33,91%), e o mesmo percentual de amostras do Grupo 2 (26,90%). Com relação à ocorrência dos danos, o Grupo 3, onde se concentram os edifícios com idades maiores, concentra o maior percentual de ocorrência das diferentes anomalias (42,30%), seguido pelos grupos 1 e 2, respectivamente.

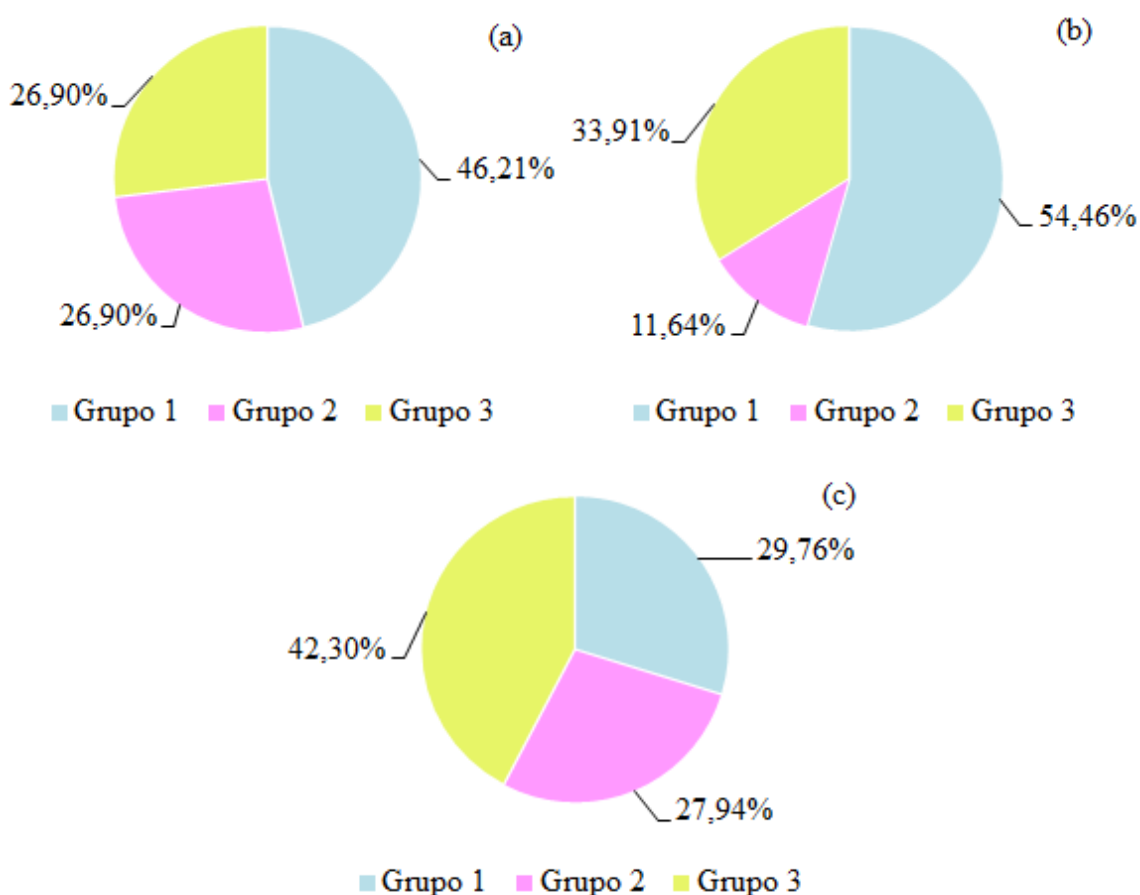


Figura 4.4 - (a) Distribuição do número das amostras por grupo de idade; (b) Percentual de área de fachada por grupo de idade; (c) Probabilidade de ocorrência de anomalias por grupo de idade

Embora os resultados acima mostrem, para orientação e tipo de elemento construtivo, que os maiores percentuais de ocorrência de danos estão associados às maiores áreas, sabe-se que para que uma anomalia ocorra, é necessário um conjunto de condições simultâneas que propiciem o seu surgimento. Desta forma, se um erro construtivo ou de

projeto é identificado em uma zona do edifício, mesmo que esta zona tenha menor extensão de área que as demais, ela pode se apresentar mais danificada. Por este motivo, análises associadas à intensidade dos danos nas zonas também devem ser realizadas antes de estabelecer qualquer afirmação a respeito.

#### **4.2.2 Probabilidade de ocorrência das anomalias por zona**

Em relação à área total de danos registrada na amostra, a fim de entender como as diferentes anomalias se distribuem nas seis zonas da fachada, são calculadas as probabilidades de ocorrência de cada anomalia por zona. Os resultados são apresentados em forma de gráfico de colunas na Figura 4.5.

A Figura 4.5 mostra que o descolamento cerâmico (DC) é o dano com maior probabilidade de ocorrência nas fachadas, independente da zona analisada, totalizando, quase sempre, mais que o dobro da ocorrência das demais anomalias somadas. Não existe, no entanto, uma ordem definida para a ocorrência das anomalias nas zonas.

As probabilidades de ocorrência de fissura (FI) e falha de rejunte (FR) variam nas diferentes zonas e são, para todos os casos, superiores à eflorescência (EF). Observa-se ainda que a zona PC acumula 50,75% do total de probabilidade de ocorrência de danos observados nas fachadas. Diferente das demais zonas, no TO, as anomalias DC (4,69%), FI (1,54%) e FR (1,67%) ocorrem em porcentagens bastante significativas, o que pode ter relação com a maior exposição da zona aos agentes de degradação chuva dirigida e radiação solar.

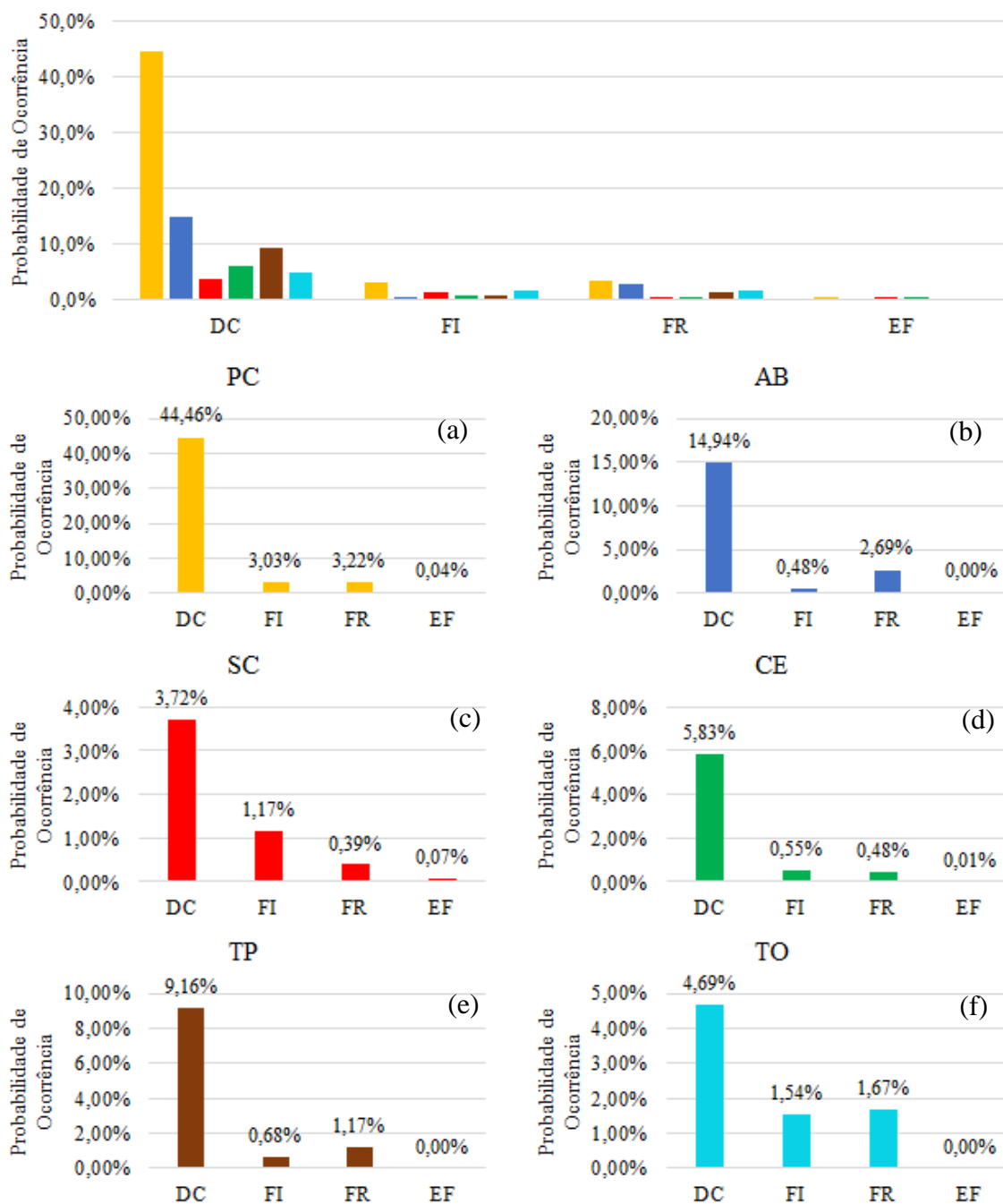


Figura 4.5 – Probabilidade de ocorrência de cada anomalia, apresentada por zona. (a) Paredes Contínuas (PC); (b) Aberturas (AB); (c) Sacadas (SC); (d) Cantos e Extremidades (CE); (e) Transição de Pavimentos (TP); (f) Topo (TO)

#### 4.2.3 Probabilidade de ocorrência das anomalias por orientação e tipo de elemento construtivo

Tomando como base a área total de danos registrada no conjunto de dados, as probabilidades de ocorrência de cada anomalia por zona são calculadas para as orientações e tipos de elemento construtivo, a fim de descobrir como os danos se

distribuem em termos das diferentes variáveis de estudo. As probabilidades de ocorrência são calculadas conforme a Equação 3.1 e os resultados são apresentados na Tabela 4.1.

Ao encontro do que é observado na Figura 4.5, os resultados da tabela mostram que a anomalia com maior probabilidade de ocorrência nos edifícios avaliados é o DC, totalizando 82,80% da ocorrência dos danos na amostra estudada. Na sequência, as maiores probabilidades de ocorrência são das anomalias FR (9,64%), FI (7,45%) e EF (0,12%).

A orientação Norte, que compreende 36,56% dos danos, apresenta a maior probabilidade ocorrência de danos, seguida por Sul (26,33%), Leste (22,11%) e Oeste (15,00%). Na orientação Norte destacam-se DC-PC (16,55%), FI-PC (1,02%), FR-AB (1,67%) e EF-SC (0,07%) e na orientação Sul DC-PC (11,68%), FI-PC (0,87%), FR-AB (0,99%) e EF-SC (0,004%). Na orientação Leste destacam-se DC-PC (9,43%), FI-PC (0,60%) e FR-PC (0,70%) e na orientação Oeste DC-PC (6,81%), FI-PC (0,54%), FR-TO (0,55%) e EF-PC (0,04%).

Por meio da escala de cores, onde a cor mais escura corresponde ao maior valor e a mais clara ao menor, observa-se que não existe um sequenciamento ou hierarquização padrão das probabilidades de ocorrência das anomalias nas zonas nas quatro orientações. Nota-se ainda que, para o total de danos, as maiores probabilidades estão nas zonas PC, AB, TP e TO, mas esta ordem muda conforme o tipo de anomalia.

As prumadas (73,26%) apresentam a maior probabilidade de ocorrência, seguidas por empenas (19,40%) e caixas de escada (7,35%). Com relação ao tipo de elemento construtivo, as anomalias DC, FI e FR são mais prováveis de ocorrer nas prumadas, enquanto a maior probabilidade de ocorrência de EF é nas empenas. Os valores de maior destaque são DC-PC-Prumada (32,30%), FI-PC-Prumada (2,03%), FR-AB-Prumada (2,64%) e EF-SC-Empena (0,07%).

Independentemente do tipo de elemento construtivo e da anomalia avaliada, as maiores probabilidades de ocorrência de danos são observadas, em geral, para a zona PC. As exceções são as EF nas empenas, cuja zona SC mostra-se mais provável à ocorrência da anomalia, e as FR na zona AB, no elemento construtivo do tipo prumada.

Tabela 4.1 - Probabilidade de ocorrência das anomalias na amostra

Toda a Amostra									
	Zona	Total	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
Total de Danos	PC	50,75%	18,99%	13,26%	10,73%	7,78%	3,53%	36,26%	10,97%
	AB	18,11%	6,36%	4,62%	4,04%	3,09%	0,08%	17,37%	0,66%
	SC	5,36%	0,92%	1,28%	2,28%	0,88%	0,00%	3,05%	2,31%
	CE	6,87%	2,95%	2,24%	0,94%	0,74%	0,64%	5,00%	1,23%
	TP	11,01%	4,38%	3,57%	2,04%	1,02%	0,85%	7,37%	2,79%
	TO	7,90%	2,96%	1,37%	2,08%	1,50%	2,25%	4,21%	1,45%
	<b>Total</b>	<b>100,00%</b>	<b>36,56%</b>	<b>26,33%</b>	<b>22,11%</b>	<b>15,00%</b>	<b>7,35%</b>	<b>73,26%</b>	<b>19,40%</b>
DC	Zona	Total	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	44,46%	16,55%	11,68%	9,43%	6,81%	2,49%	32,30%	9,67%
	AB	14,94%	4,51%	3,44%	3,92%	3,06%	0,04%	14,41%	0,49%
	SC	3,72%	0,44%	0,87%	1,85%	0,55%	0,00%	2,13%	1,58%
	CE	5,83%	2,48%	1,97%	0,71%	0,67%	0,39%	4,31%	1,14%
	TP	9,16%	3,70%	3,20%	1,61%	0,65%	0,58%	6,14%	2,43%
	TO	4,69%	1,81%	1,09%	1,18%	0,60%	1,20%	2,54%	0,95%
<b>Total</b>	<b>82,80%</b>	<b>29,49%</b>	<b>22,25%</b>	<b>18,71%</b>	<b>12,35%</b>	<b>4,69%</b>	<b>61,85%</b>	<b>16,26%</b>	
FI	Zona	Total	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	3,03%	1,02%	0,87%	0,60%	0,54%	0,03%	2,03%	0,97%
	AB	0,48%	0,18%	0,18%	0,11%	0,02%	0,00%	0,32%	0,16%
	SC	1,17%	0,40%	0,40%	0,25%	0,12%	0,00%	0,53%	0,65%
	CE	0,55%	0,18%	0,24%	0,13%	0,00%	0,00%	0,47%	0,08%
	TP	0,68%	0,25%	0,13%	0,15%	0,15%	0,01%	0,39%	0,28%
	TO	1,54%	0,43%	0,22%	0,53%	0,35%	0,00%	1,18%	0,36%
<b>Total</b>	<b>7,45%</b>	<b>2,46%</b>	<b>2,04%</b>	<b>1,77%</b>	<b>1,18%</b>	<b>0,04%</b>	<b>4,91%</b>	<b>2,50%</b>	
FR	Zona	Total	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	3,22%	1,42%	0,71%	0,70%	0,39%	1,01%	1,88%	0,33%
	AB	2,69%	1,67%	0,99%	0,01%	0,01%	0,04%	2,64%	0,00%
	SC	0,39%	0,01%	0,00%	0,18%	0,20%	0,00%	0,39%	0,00%
	CE	0,48%	0,30%	0,03%	0,10%	0,05%	0,26%	0,21%	0,02%
	TP	1,17%	0,43%	0,24%	0,28%	0,22%	0,26%	0,84%	0,07%
	TO	1,67%	0,71%	0,06%	0,36%	0,55%	1,05%	0,48%	0,14%
<b>Total</b>	<b>9,64%</b>	<b>4,54%</b>	<b>2,04%</b>	<b>1,63%</b>	<b>1,43%</b>	<b>2,62%</b>	<b>6,45%</b>	<b>0,57%</b>	
EF	Zona	Total	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,04%	0,00%
	AB	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	SC	0,07%	0,07%	0,004%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%
	CE	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%
	TP	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	TO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Total</b>	<b>0,12%</b>	<b>0,07%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,05%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,05%</b>	<b>0,07%</b>	
<b>Legenda:</b>		<b>(+)</b>			<b>(-)</b>				
<b>Zonas:</b> Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO)									

Por meio da escala de cores nota-se que, assim como é observado para as orientações, não existe um sequenciamento padrão das probabilidades de ocorrência das anomalias

nas zonas para os três tipos de elemento construtivo, uma vez que o ordenamento das zonas se altera para as diferentes anomalias. Uma hipótese possível para esta constatação é que estes resultados têm relação com a superposição de variáveis, a diferenciação das condições de exposição das amostras de fachada e também com aspectos que não podem ser diretamente mensurados, como as características construtivas.

#### **4.2.4 Probabilidade de ocorrência das anomalias por grupo de idade**

A fim de identificar como o aparecimento das anomalias se relaciona com o avanço da idade dos edifícios, são calculadas as probabilidades de ocorrência de danos para as diferentes zonas nos três grupos de idade: Grupo 1 (5 a 14 anos), Grupo 2 (15 a 24 anos) e Grupo 3 (acima de 25 anos).

Em primeira análise, a probabilidade de ocorrência de cada anomalia nas zonas é observada para as orientações, nos três grupos de idade, em termos da área total do dano na orientação. Os resultados são apresentados da Figura 4.6 a Figura 4.9.

##### **a) Descolamento cerâmico (DC)**

Conforme a Figura 4.6, no Grupo 1, observa-se que nas orientações Norte e Sul o descolamento cerâmico tem maior probabilidade de ocorrência nas zonas PC, AB, CE e TP, com valores mais baixos e similares para as zonas TO e SC. Nas orientações Leste e Oeste, observa-se que embora a zona PC apresente o maior percentual de ocorrência do dano, há inversão na ordem preferencial de sua ocorrência, de modo que para a orientação Leste a ordem das zonas de ocorrência dos danos é SC, TP e TO, enquanto na Oeste é CE, TP e SC.

Em termos gerais, nota-se que existe uma distribuição da ocorrência de DC em quase todas as zonas, independente da orientação. A degradação por descolamento cerâmico é caracterizado por uma perda de aderência do sistema de revestimento, em função da queda de desempenho das propriedades de resistência dos materiais que o constituem. Considerando, portanto, que a idade dos edifícios do Grupo 1 (5 a 14 anos) é bastante jovem, não se espera que o DC se apresente, naturalmente, por todas as zonas da fachada.

Altos índices de falha em idades jovens denotam erros construtivos e de projeto, não sendo um fenômeno de degradação típico. Este resultado, desta forma, sustenta a

hipótese de que os edifícios pertencentes a este grupo apresentam falhas de projeto ou execução, que dão condição ao aparecimento desta anomalia.

A avaliação do Grupo 2, independente da orientação avaliada, indica ocorrências superiores de descolamento cerâmico nas zonas PC e AB, que perfazem juntas, de 83% a 96% do total de probabilidade dos danos registrado em cada orientação. Observa-se, neste caso, que a maior probabilidade da ocorrência de danos está associada às zonas de maior extensão de área, representando, provavelmente, o efeito cumulativo dos agentes de degradação e das condições de exposição do edifício ao longo da sua vida útil.

No caso do Grupo 3, notam-se distribuições de probabilidade bastante similares para todas as orientações, com grande destaque para a probabilidade de ocorrência de DC na zona PC. Neste caso, sobretudo, o efeito cumulativo dos diferentes tipos de danos ao longo da vida do edifício, podem acarretar na evolução de outras anomalias, como fissura ou falha de rejunte, para um descolamento, resultando nas probabilidades observadas, que totalizam mais de 60,00% em todas as orientações.

A Figura 4.6 mostra que as tendências de ocorrência da anomalia tendem a estabilizar conforme o avanço da idade, uma vez que se observam intensidades muito similares do dano nas diferentes orientações no Grupo 3. Os resultados indicam que o DC tem maior probabilidade de ocorrência nas zonas PC e AB, principalmente nas orientações Norte e Oeste, que são aquelas em que a radiação solar atua em maior intensidade ao longo do ano na cidade de Brasília.

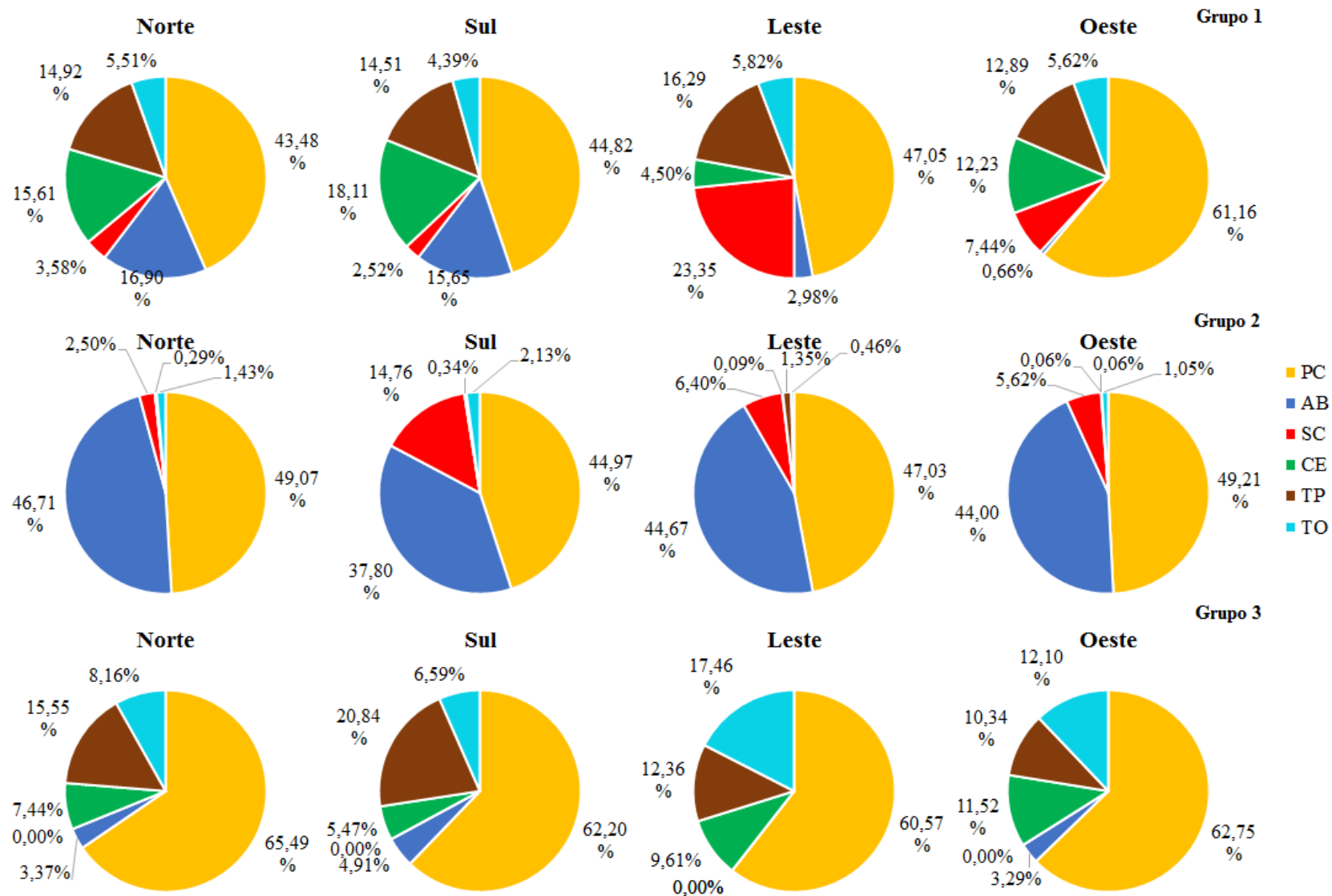


Figura 4.6 – Probabilidade de ocorrência de descolamento cerâmico por orientação nos Grupos 1, 2 e 3.



### **b) Fissuração (FI)**

De acordo com a Figura 4.7, para o Grupo 1, constata-se uma maior probabilidade de ocorrência de FI em PC, seguida por uma considerável porcentagem de ocorrência desta anomalia na zona TO para as orientações Sul, Leste e Oeste. Na orientação Norte é a zona AB que mais se destaca. As demais zonas não apresentam valores muito elevados para a probabilidade de ocorrência de FI em nenhuma das orientações. No Grupo 1, nota-se uma tendência bastante clara de ocorrência da anomalia na zona TO, que chega a atingir até 31,31% da probabilidade de ocorrência total do dano na orientação Sul.

No Grupo 2 os resultados destacam grande probabilidade de ocorrência de FI na zona SC, seguida por uma considerável porcentagem desta anomalia na zona TO, para as orientações Norte e Sul. Na orientação Oeste destacam-se as zonas TO, SC e TP, enquanto na orientação Leste nota-se uma maior distribuição do dano nas zonas da fachada, indicando maior concentração de danos nas zonas TO e SC, respectivamente.

Para Grupo 3 nota-se que a zona PC tem probabilidade de ocorrência de FI superior a 50% para todas as orientações. Observa-se, além disso, que nas orientações Norte, Sul e Leste, há presença de danos em todas as zonas, fato este que pode estar relacionado à idade dos edifícios que pertencem ao grupo. Os resultados da probabilidade de ocorrência neste grupo, conforme comentado na análise da Figura 4.6, sugerem que as FI podem ter evoluído e contribuído para os resultados do DC.

Com relação à FI, nota-se que a zona TO aparece com diferentes probabilidades de ocorrência em todos os grupos de idade e para todas as orientações. Esta resposta pode estar associada ao fato de as áreas mais próximas do topo serem mais suscetíveis à ação da chuva, do vento e, principalmente, da radiação solar, que afetam diretamente as propriedades dos materiais, e propiciam a ocorrência deste tipo de anomalia. Neste caso, assim como observado para o descolamento cerâmico (DC), os resultados são mais evidentes nas orientações Norte e Oeste, que apresentam os maiores índices de radiação e chuva dirigida ao longo do ano, e menos evidentes na orientação Sul que, em contrapartida, é a menos afetada pelos agentes climáticos.

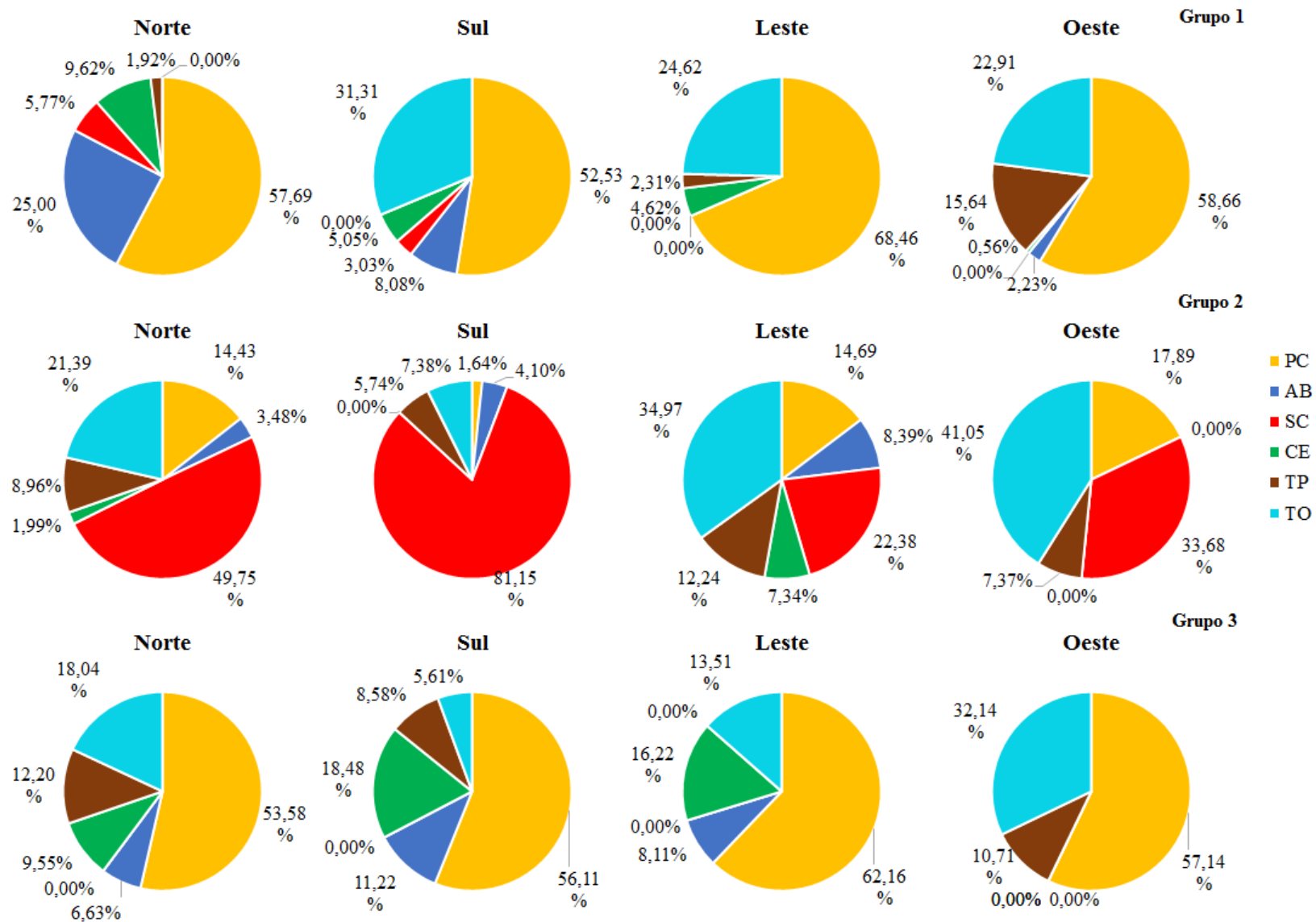


Figura 4.7 – Probabilidade de ocorrência de fissura por orientação nos Grupos 1, 2 e 3

### **c) Falha de Rejunte (FR)**

De acordo com a Figura 4.8, no Grupo 1, observa-se que a zona AB tem maior probabilidade de ocorrência de falha de rejunte nas orientações Norte e Sul, enquanto a zona SC se destaca no Leste e TO no Oeste. Neste caso, há uma grande variação na distribuição do dano nas diferentes zonas da fachada para as quatro orientações, não sendo estabelecida uma ordem de preponderância de ocorrência da anomalia. Considerando a idade dos edifícios pertencentes a este grupo, as primeiras manifestações apresentam um elevado grau de aleatoriedade, não apresentando uma relação direta e clara com algum fenômeno de degradação típico ou específico.

Para os edifícios avaliados no Grupo 2, identifica-se a ocorrência de FR apenas na orientação Norte, com 100,00% dos danos concentrados na zona PC. Este resultado pode indicar maior probabilidade de o dano ocorrer nesta zona e orientação, mas também é resposta direta da condição das amostras pertencentes ao grupo.

A falha de rejunte no Grupo 3 manifesta-se de maneira diversificada nas zonas. Para as orientações Norte, Leste e Oeste, há uma maior probabilidade de ocorrência da anomalia em PC e TO, enquanto para a orientação Sul observa-se maior probabilidade de ocorrência de FR nas zonas AB e PC, respectivamente. As tendências observadas para a probabilidade de ocorrência, principalmente no Grupo 3, são um indicativo de que a FR podem ter evoluído para um DC, conforme comentado na análise da Figura 4.6

A ocorrência da FR está geralmente associada à ação de intempéries ao longo do tempo, principalmente a fadiga por ciclagem higrotérmica, a infiltração e o envelhecimento do rejunte, que afetam sua capacidade de absorver e resistir às diferentes solicitações. Nota-se neste caso, que as probabilidades de ocorrência das anomalias estão relacionadas com as zonas em que se observa elevada exposição à radiação solar e chuva dirigida, como SC, TO e PC. Neste caso, não existe um padrão de ocorrência da anomalia em termos das orientações, mas, geralmente, as orientações Norte e Oeste apresentam zonas com maiores probabilidades de ocorrência de FR, o que pode ser relacionado com a maior incidência dos agentes climáticos de degradação nessas orientações.

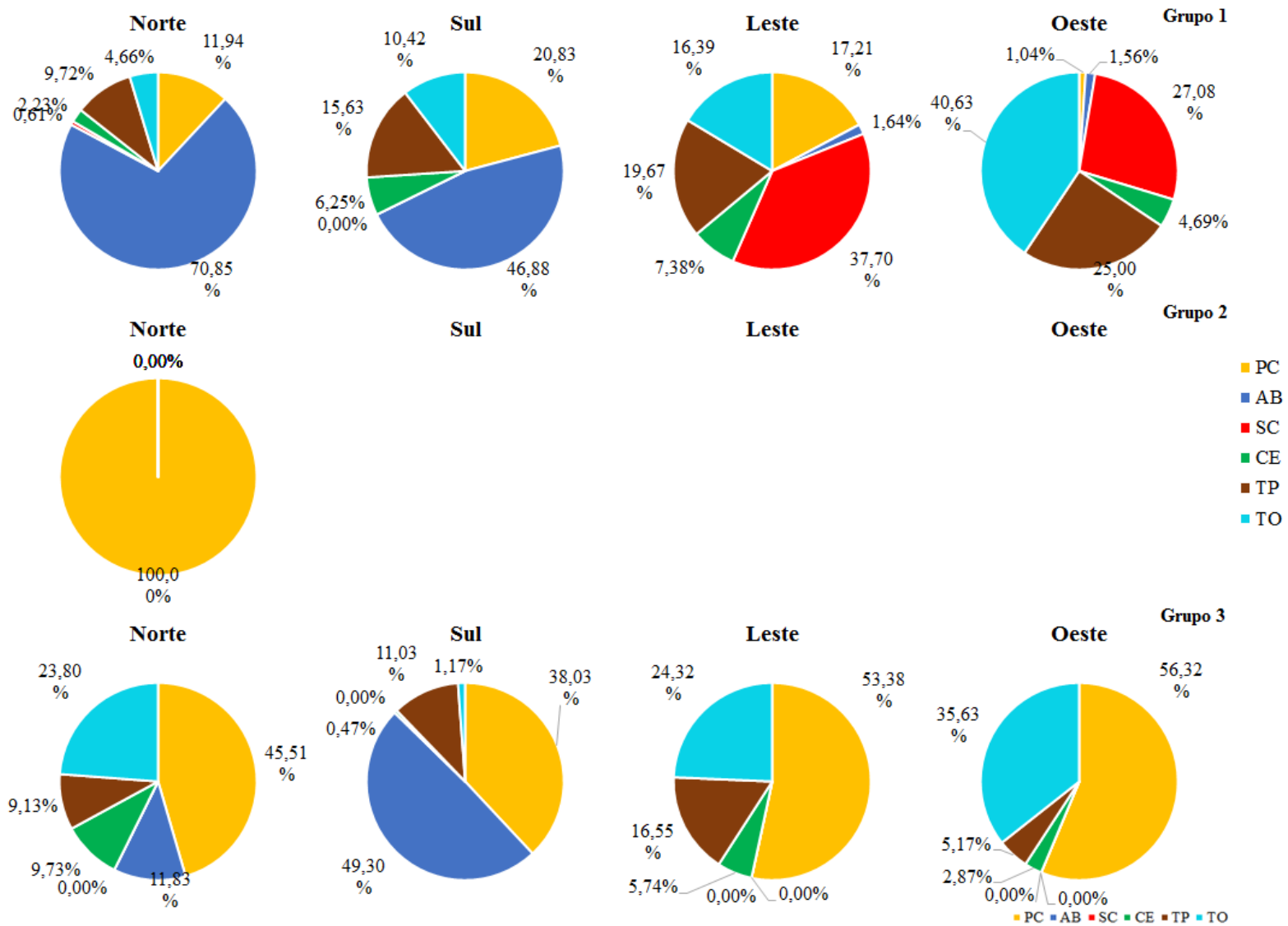


Figura 4.8 – Probabilidade de ocorrência de falha de rejunte por orientação nos Grupos 1, 2 e 3

#### **d) Eflorescência (EF)**

Levando em consideração o fato de que a presença da anomalia EF está diretamente associada às condições de exposição do sistema de revestimento e à atuação simultânea de diferentes agentes de degradação ao longo do tempo, nota-se na Figura 4.9 que, para o Grupo 1, apenas na orientação Oeste apresenta probabilidade de ocorrência desta anomalia, correspondente as zonas PC (83,00%) e CE (17,00%).

No Grupo 2, são observadas eflorescências apenas na zona de sacadas para as orientações Norte e Sul. As orientações Leste e Oeste, assim como as demais zonas, apresentaram 0,00% de probabilidade de ocorrência desta anomalia. Este resultado podem ter relação com as características construtivas dos edifícios que pertencem ao Grupo 2, mas também se devem a não identificação de EF durante o procedimento de inspeção dos edifícios.

Para as condições de análise estabelecidas, o Grupo 3 não apresenta incidência de eflorescência em nenhuma zona e orientação. Este resultado, no entanto, não significa que em edifícios com idades mais avançadas não existe probabilidade de ocorrer de EF, apenas que, nos casos avaliados, talvez por condições dos elementos de arquitetura, bom projeto e execução os danos não foram identificados.

O total de área degradada pela anomalia eflorescência é de apenas 7,75 m<sup>2</sup> para todo o conjunto de amostras analisadas. Em geral, espera-se que este tipo de anomalia se manifeste apenas em edifícios com idade mais avançada, devido à necessidade de condições específicas para que ela aconteça. Estes resultados, portanto, podem ter relação direta com falhas de projeto ou execução, principalmente no Grupo 1, uma vez que são os edifícios mais jovens.

Nota-se na Figura 4.9 que as zonas que apresentam probabilidades de ocorrência de EF aparecem na orientação Sul, mas também nas orientações Norte e Oeste, que são as mais críticas em termos da incidência da chuva dirigida e da radiação solar na cidade de Brasília. Um maior destaque é dado às sacadas (SC), que apresentam condições de exposição mais críticas devido ao afastamento de paredes que sobressaem ao alinhamento da fachada, permitindo ações mais intensas da chuva dirigida e radiação que nas demais zonas, dando condições, dentre outros, ao surgimento de eflorescências (EF).

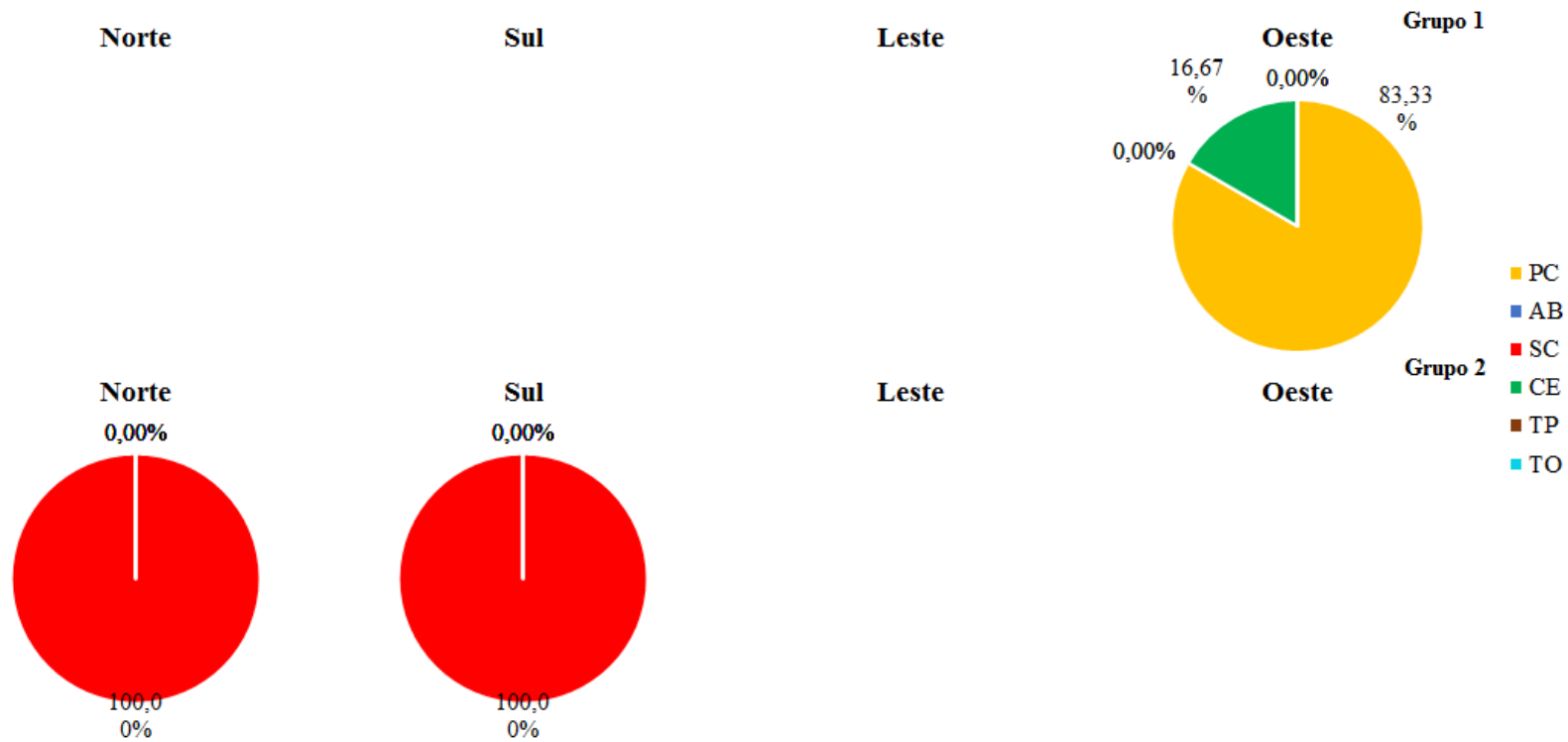


Figura 4.9 – Probabilidade de ocorrência de efloração por orientação nos Grupos 1, 2 e 3

Feita a avaliação da distribuição do total de danos por orientação, é avaliada a seguir a probabilidade de ocorrência das anomalias nas zonas, para orientação e tipo de elemento construtivo, em termos do total de danos registrado na amostra. Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.2 para o Grupo 1, na Tabela 4.3 para o Grupo 2 e na Tabela 4.4 para o Grupo 3 e permitem observar como funciona a evolução da degradação nas zonas das fachadas dos edifícios, conforme o avanço da idade.

Tabela 4.2 - Probabilidade de ocorrência das anomalias no Grupo 1

<b>Grupo 1 (5 a 14 anos)</b>									
	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
<b>Total de Danos</b>	<b>PC</b>	12,84%	4,04%	3,82%	3,08%	1,90%	0,00%	9,21%	3,63%
	<b>AB</b>	4,51%	2,85%	1,44%	0,18%	0,04%	0,00%	4,29%	0,23%
	<b>SC</b>	2,41%	0,33%	0,21%	1,49%	0,38%	0,00%	1,03%	1,38%
	<b>CE</b>	3,51%	1,39%	1,47%	0,31%	0,34%	0,00%	3,16%	0,35%
	<b>TP</b>	4,29%	1,46%	1,21%	1,02%	0,60%	0,00%	3,20%	1,09%
	<b>TO</b>	2,19%	0,56%	0,51%	0,53%	0,60%	0,00%	1,78%	0,41%
	<b>Total</b>	<b>29,76%</b>	<b>10,63%</b>	<b>8,66%</b>	<b>6,61%</b>	<b>3,85%</b>	<b>0,00%</b>	<b>22,67%</b>	<b>7,09%</b>
<b>DC</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	<b>PC</b>	11,33%	3,69%	3,54%	2,65%	1,44%	0,00%	7,93%	3,40%
	<b>AB</b>	2,86%	1,44%	1,24%	0,17%	0,02%	0,00%	2,67%	0,18%
	<b>SC</b>	1,99%	0,30%	0,20%	1,31%	0,18%	0,00%	0,61%	1,38%
	<b>CE</b>	3,30%	1,33%	1,43%	0,25%	0,29%	0,00%	2,96%	0,34%
	<b>TP</b>	3,64%	1,27%	1,15%	0,92%	0,30%	0,00%	2,56%	1,08%
	<b>TO</b>	1,28%	0,47%	0,35%	0,33%	0,13%	0,00%	1,05%	0,23%
<b>Total</b>	<b>24,39%</b>	<b>8,50%</b>	<b>7,90%</b>	<b>5,63%</b>	<b>2,36%</b>	<b>0,00%</b>	<b>17,78%</b>	<b>6,61%</b>	
<b>FI</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	<b>PC</b>	1,08%	0,12%	0,20%	0,35%	0,41%	0,00%	0,94%	0,14%
	<b>AB</b>	0,10%	0,05%	0,03%	0,00%	0,02%	0,00%	0,06%	0,04%
	<b>SC</b>	0,02%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%
	<b>CE</b>	0,07%	0,02%	0,02%	0,02%	0,00%	0,00%	0,06%	0,01%
	<b>TP</b>	0,12%	0,00%	0,00%	0,01%	0,11%	0,00%	0,12%	0,00%
	<b>TO</b>	0,41%	0,00%	0,12%	0,12%	0,16%	0,00%	0,37%	0,04%
<b>Total</b>	<b>1,79%</b>	<b>0,20%</b>	<b>0,39%</b>	<b>0,51%</b>	<b>0,70%</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,57%</b>	<b>0,23%</b>	
<b>FR</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	<b>PC</b>	0,40%	0,23%	0,08%	0,08%	0,01%	0,00%	0,30%	0,09%
	<b>AB</b>	1,56%	1,37%	0,18%	0,01%	0,01%	0,00%	1,56%	0,00%
	<b>SC</b>	0,39%	0,01%	0,00%	0,18%	0,20%	0,00%	0,39%	0,00%
	<b>CE</b>	0,14%	0,04%	0,02%	0,04%	0,04%	0,00%	0,13%	0,00%
	<b>TP</b>	0,53%	0,19%	0,06%	0,09%	0,19%	0,00%	0,51%	0,01%
	<b>TO</b>	0,51%	0,09%	0,04%	0,08%	0,30%	0,00%	0,37%	0,14%
<b>Total</b>	<b>3,53%</b>	<b>1,93%</b>	<b>0,37%</b>	<b>0,48%</b>	<b>0,75%</b>	<b>0,00%</b>	<b>3,27%</b>	<b>0,26%</b>	
<b>EF</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	<b>PC</b>	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,04%	0,00%
	<b>AB</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>SC</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>CE</b>	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%
	<b>TP</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>TO</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Total</b>	<b>0,05%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,05%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,05%</b>	<b>0,00%</b>	
<b>Legenda:</b>		<b>(+)</b>			<b>(-)</b>				
<b>Zonas: Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO)</b>									



Tabela 4.3 - Probabilidade de ocorrência das anomalias no Grupo 2

<b>Grupo 2 (15 a 24 anos)</b>									
<b>Total de Danos</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	12,33%	2,80%	2,06%	4,12%	3,35%	0,00%	12,04%	0,29%
	AB	11,11%	2,58%	1,75%	3,85%	2,93%	0,00%	10,80%	0,31%
	SC	2,95%	0,60%	1,07%	0,79%	0,50%	0,00%	2,03%	0,92%
	CE	0,11%	0,02%	0,00%	0,09%	0,00%	0,00%	0,08%	0,03%
	TP	0,41%	0,09%	0,04%	0,25%	0,03%	0,00%	0,20%	0,21%
	TO	1,03%	0,25%	0,13%	0,43%	0,22%	0,00%	0,75%	0,28%
<b>Total</b>	<b>27,94%</b>	<b>6,32%</b>	<b>5,05%</b>	<b>9,53%</b>	<b>7,04%</b>	<b>0,00%</b>	<b>25,91%</b>	<b>2,03%</b>	
<b>DC</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	11,97%	2,68%	2,06%	3,96%	3,28%	0,00%	11,84%	0,13%
	AB	10,97%	2,55%	1,73%	3,76%	2,93%	0,00%	10,78%	0,20%
	SC	1,72%	0,14%	0,67%	0,54%	0,37%	0,00%	1,52%	0,20%
	CE	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
	TP	0,15%	0,02%	0,02%	0,11%	0,00%	0,00%	0,10%	0,05%
	TO	0,28%	0,08%	0,10%	0,04%	0,07%	0,00%	0,18%	0,10%
<b>Total</b>	<b>25,11%</b>	<b>5,46%</b>	<b>4,57%</b>	<b>8,41%</b>	<b>6,67%</b>	<b>0,00%</b>	<b>24,43%</b>	<b>0,68%</b>	
<b>FI</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	0,35%	0,11%	0,01%	0,16%	0,07%	0,00%	0,19%	0,16%
	AB	0,14%	0,03%	0,02%	0,09%	0,00%	0,00%	0,03%	0,11%
	SC	1,15%	0,39%	0,39%	0,25%	0,12%	0,00%	0,51%	0,64%
	CE	0,10%	0,02%	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%	0,08%	0,02%
	TP	0,26%	0,07%	0,03%	0,14%	0,03%	0,00%	0,10%	0,16%
	TO	0,75%	0,17%	0,04%	0,39%	0,15%	0,00%	0,57%	0,18%
<b>Total</b>	<b>2,75%</b>	<b>0,78%</b>	<b>0,48%</b>	<b>1,12%</b>	<b>0,37%</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,47%</b>	<b>1,28%</b>	
<b>FR</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%
	AB	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	SC	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	CE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	TP	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	TO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Total</b>	<b>0,01%</b>	<b>0,01%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,01%</b>	<b>0,00%</b>	
<b>EF</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	AB	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	SC	0,07%	0,07%	0,004%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%
	CE	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	TP	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	TO	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Total</b>	<b>0,07%</b>	<b>0,07%</b>	<b>0,004%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,07%</b>	
<b>Legenda:</b>		<b>(+)</b>					<b>(-)</b>		
<b>Zonas:</b> Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO)									

Tabela 4.4 - Probabilidade de ocorrência das anomalias no Grupo 3

<b>Grupo 3 (25 anos a 48 anos)</b>									
	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
<b>Total de Danos</b>	<b>PC</b>	25,58%	12,14%	7,37%	3,53%	2,53%	3,53%	15,00%	7,05%
	<b>AB</b>	2,48%	0,93%	1,43%	0,01%	0,11%	0,08%	2,28%	0,12%
	<b>SC</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>CE</b>	3,25%	1,55%	0,76%	0,54%	0,40%	0,64%	1,76%	0,85%
	<b>TP</b>	6,31%	2,83%	2,32%	0,77%	0,39%	0,85%	3,97%	1,49%
	<b>TO</b>	4,68%	2,15%	0,73%	1,12%	0,68%	2,25%	1,67%	0,76%
	<b>Total</b>	<b>42,30%</b>	<b>19,61%</b>	<b>12,62%</b>	<b>5,97%</b>	<b>4,11%</b>	<b>7,35%</b>	<b>24,68%</b>	<b>10,27%</b>
<b>DC</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	<b>PC</b>	21,16%	10,17%	6,08%	2,83%	2,08%	2,49%	12,53%	6,14%
	<b>AB</b>	1,11%	0,52%	0,48%	0,00%	0,11%	0,04%	0,96%	0,11%
	<b>SC</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>CE</b>	2,52%	1,15%	0,53%	0,45%	0,38%	0,39%	1,35%	0,79%
	<b>TP</b>	5,37%	2,41%	2,04%	0,58%	0,34%	0,58%	3,48%	1,31%
	<b>TO</b>	3,13%	1,27%	0,64%	0,82%	0,40%	1,20%	1,31%	0,62%
<b>Total</b>	<b>33,29%</b>	<b>15,53%</b>	<b>9,77%</b>	<b>4,67%</b>	<b>3,32%</b>	<b>4,69%</b>	<b>19,63%</b>	<b>8,97%</b>	
<b>FI</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	<b>PC</b>	1,60%	0,79%	0,66%	0,09%	0,06%	0,03%	0,90%	0,67%
	<b>AB</b>	0,24%	0,10%	0,13%	0,01%	0,00%	0,00%	0,23%	0,01%
	<b>SC</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>CE</b>	0,38%	0,14%	0,22%	0,02%	0,00%	0,00%	0,33%	0,05%
	<b>TP</b>	0,29%	0,18%	0,10%	0,00%	0,01%	0,01%	0,16%	0,12%
	<b>TO</b>	0,39%	0,27%	0,07%	0,02%	0,04%	0,00%	0,25%	0,14%
<b>Total</b>	<b>2,91%</b>	<b>1,47%</b>	<b>1,18%</b>	<b>0,14%</b>	<b>0,11%</b>	<b>0,04%</b>	<b>1,87%</b>	<b>0,99%</b>	
<b>FR</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	<b>PC</b>	2,82%	1,19%	0,63%	0,62%	0,38%	1,01%	1,57%	0,24%
	<b>AB</b>	1,13%	0,31%	0,82%	0,00%	0,00%	0,04%	1,08%	0,00%
	<b>SC</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>CE</b>	0,35%	0,25%	0,01%	0,07%	0,02%	0,26%	0,08%	0,01%
	<b>TP</b>	0,65%	0,24%	0,18%	0,19%	0,04%	0,26%	0,33%	0,06%
	<b>TO</b>	1,16%	0,62%	0,02%	0,28%	0,24%	1,05%	0,11%	0,00%
<b>Total</b>	<b>6,10%</b>	<b>2,61%</b>	<b>1,66%</b>	<b>1,15%</b>	<b>0,68%</b>	<b>2,62%</b>	<b>3,18%</b>	<b>0,31%</b>	
<b>EF</b>	<b>Zona</b>	<b>Total</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	<b>PC</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>AB</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>SC</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>CE</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>TP</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	<b>TO</b>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>Total</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,00%</b>	
<b>Legenda:</b>		<b>(+)</b>			<b>(-)</b>				
<b>Zonas:</b> Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO)									

De acordo o resultado total nas três tabelas apresentadas, nota-se que o Grupo 3 (42,30%) apresenta a maior probabilidade de ocorrência de danos, seguido pelo Grupo 1 (29,76%) e Grupo 2 (27,94%). Parcialmente, esta resposta já era esperada, uma vez que edificações com idade mais avançada tendem a apresentar maior ocorrência de danos, devido ao maior tempo de exposição aos agentes de degradação.

Avaliando mais a fundo a inversão das ordens de probabilidade de ocorrência dos grupos 1 e 2, nota-se que, para o Grupo 2, os edifícios apresentam maiores probabilidades de ocorrência de DC, FI e EF, com percentual pouco relevante apenas de FR. Por este motivo, o Grupo 2 apresenta a menor probabilidade ocorrência de danos. Este resultado, associado ao fato de que as probabilidades de degradação totais nos dois grupos são muito próximas, torna possível sustentar a hipótese de que os edifícios que compõem o Grupo 1 apresentam falhas de execução ou projeto, conforme comentado nas análises da Figura 4.6 a Figura 4.9.

Para os edifícios mais jovens (Grupo 1), na Tabela 4.2, nota-se que a zona de paredes contínuas (PC) é a mais provável para a ocorrência de anomalias, seguida pelas aberturas (AB) e transições de pavimentos (TP). As anomalias que mais acontecem são DC (24,39%), FR (3,53%), FI (1,79%) e EF (0,05%).

A orientação Norte tem maiores probabilidades de ocorrência das anomalias DC (8,50%) e a FR (1,93%), enquanto na orientação Oeste os valores de FI (0,70%) e EF (0,05%) são mais elevados. Em geral, a orientação Norte (10,63%) é mais crítica, seguida por Sul (8,66%), Leste (6,61%) e Oeste (3,85%).

Com relação ao tipo de elemento construtivo, o Grupo 1 não contempla edifícios com amostras de caixas de escada, portanto os resultados são nulos. Independentemente da anomalia, as prumadas se mostram mais prováveis à ocorrência de degradação.

Nos edifícios com idades intermediárias (Grupo 2), observa-se na Tabela 4.3 que as zonas PC (12,33%) e AB (11,11%) compreendem a quase totalidade da degradação registrada no grupo (27,94%). O DC (25,11%) é a anomalia com maior probabilidade de ocorrência, seguida por FI (2,75%), EF (0,07%) e FR (0,01%). As anomalias FI e EF tendem a ocorrer mais na zona SC, enquanto DC e FR na zona PC.

Na orientação Norte é mais provável a ocorrência de EF (0,07%) e FR (0,01%), enquanto FI (2,75%) e DC (5,46%) são mais prováveis de ocorrem na orientação Leste. Em termos do total de danos, a orientação Leste (9,53%) é mais crítica, seguida por Oeste (7,04%), Norte

(6,32%) e Sul (5,05%). No Grupo 2 não se consegue observar uma tendência das probabilidades de ocorrência associada à orientação. O fato de as orientações Oeste e Norte aparecerem entre as mais críticas pode estar associado à maior incidência de radiação solar e chuva dirigida nestas orientações ao longo de todo o ano. Entretanto, não é nítida a influência da orientação das fachadas, uma vez que a orientação Leste apresenta a maior probabilidade de ocorrência das anomalias.

Com relação ao tipo de elemento construtivo, o Grupo 2 também não contempla edifícios com amostras de caixas de escada, apresentando resultados nulos. As prumadas se mostram mais prováveis à ocorrência das anomalias DC, FI e FR, enquanto as EF ocorrem apenas nas empenas.

De acordo com a Tabela 4.4 (Grupo 3) pode-se afirmar que a zona PC (25,58%) é a mais provável para a ocorrência dos danos, seguida pelas zonas TP (6,31%), TO (4,68%) e AB (2,48%). A zona PC apresenta também as maiores probabilidades de degradação para todas as anomalias. Neste grupo não foram registradas ocorrências de eflorescências durante as inspeções, por este motivo os resultados da última faixa da tabela são nulos. Uma observação interessante com relação a ao Grupo 3 trata da ordem de grandeza da probabilidade de ocorrência das anomalias, principalmente DC (33,29%) e FR (6,10%), que é superior em relação à dos outros grupos.

Para o Grupo 3, a orientação Norte (15,53%) é a mais provável à ocorrência de danos, seguida pela orientação Sul (12,62%), comportamento que se repete independente da anomalia avaliada. As condições de exposição das fachadas aos agentes de degradação podem explicar os resultados observados para a orientação Norte, uma vez que é aquela que apresenta as maiores incidências de radiação e chuva dirigida ao longo de todo ano. Entretanto, as condições de exposição não são capazes de explicar os resultados obtidos para a orientação Sul.

As prumadas (24,68%) são o tipo de elemento mais crítico em termos de probabilidade de ocorrência, seguidas pelas Empenas (10,27%). Este grupo contempla amostras de caixas de escada que, no entanto, são os elementos construtivos com menor probabilidade de ocorrência de danos (7,35%).

#### 4.2.5 Síntese e discussão dos resultados de probabilidade de ocorrência

Em termos de probabilidade de ocorrência, em geral, o que se observa é que não é estabelecido um ordenamento da degradação nas zonas para as diferentes anomalias, idades, orientações e tipos de elemento construtivo, conforme mostra a Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Resumo dos resultados de probabilidade de ocorrência ( $P_f$ )

Variável		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Zona</b>	+	PC	PC	PC
	↓	AB	AB	TP
	-	TP	SC	TO
<b>Anomalia</b>	+	DC	DC	DC
	↓	FR	FI	FR
	-	FI	EF	FI
<b>Orientação</b>	+	Norte	Leste	Norte
	↓	Sul	Oeste	Sul
		Leste	Norte	Leste
	-	Oeste	Sul	Oeste
<b>Tipo de Elemento Construtivo</b>	+	Prumada	Prumada	Prumada
	↓	Empena	Empena	Empena
	-	*	*	Caixa de Escada

Algumas tendências observadas dizem respeito à zona de paredes contínuas (PC) como a mais provável a ocorrência das diferentes anomalias, o descolamento cerâmico (DC) como a anomalia que mais ocorre, e a prumada como o elemento construtivo com maior probabilidade de ocorrência das anomalias. Em termos de orientação, não se nota nenhuma tendência, além do fato de que o sequenciamento se repete nos grupos 1 e 3.

As respostas de degradação em termos das zonas sugerem que existe uma maior probabilidade de ocorrência de danos, tanto maior seja a área das zonas exposta aos agentes de degradação. Este é o caso da zona PC, que se destaca em todos os grupos, e da zona SC, que é bastante característica no Grupo 2. Estas afirmações também podem ser estendidas para os elementos construtivos, independente do grupo de idade, uma vez que se evidenciam as prumadas, que conforme a Figura 4.3 compreendem 78,28% da área total das amostras. As caixas de escada, por sua vez, têm a menor extensão de área do banco de dados, e aparecem como o elemento menos provável para a ocorrência de danos.

A avaliação da probabilidade de ocorrência dos diferentes tipos de anomalias nas orientações mostra que a ocorrência está diretamente associada com a maior ou menor exposição das

zonas aos agentes climáticos. Para os grupos 1 e 3, nota-se uma maior probabilidade de ocorrência de danos na orientação Norte, o que tem relação com fato de esta orientação apresentar as maiores médias de incidência de chuva dirigida e radiação solar ao longo do ano na cidade de Brasília. No caso do Grupo 2, entretanto, não se pode estabelecer uma relação direta entre os agentes climáticos e a probabilidade de ocorrência de danos, uma vez que a orientação Sul se mostra a mais provável ao aparecimento das anomalias. Neste caso, portanto, é possível que a degradação seja influenciada por fatores extrínsecos as variáveis analisadas.

O que se pode concluir desta análise é que, em termos de probabilidade de ocorrência, as anomalias se manifestam em quantidades diferentes nas diferentes zonas, orientações e tipos de elemento construtivo ao longo da vida do edifício. Os indícios numéricos anteriormente apresentados comprovam, também, que a idade carrega consigo o envelhecimento natural dos sistemas de revestimento cerâmico, dado que o Grupo 3, onde encontram-se os edifícios com as idades mais avançadas, concentra cerca de 40% da probabilidade de ocorrência de danos da amostra avaliada.

### **4.3 Análise 2 - Intensidade da Degradação**

A probabilidade de ocorrência de um evento está diretamente associada à amostragem do que se avalia dentro do espaço amostral estudado. Uma zona apresentar maior probabilidade de ocorrência das diferentes anomalias, entretanto, não significa, necessariamente, que ela seja mais intensamente degradada. Para verificar a intensidade da degradação nas seis diferentes zonas componentes da fachada - Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO) - é calculado o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ), de acordo com a Equação 3.2, em função de cada uma das variáveis independentes.

#### **4.3.1 Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio da amostra**

A tendência global da amostra, em termos de intensidade da degradação das zonas, é quantificada por meio do cálculo do  $FD_w$  de todas as amostras de fachada. O resultado pode ser visto na Figura 4.10 e corresponde à média dos valores do indicador de degradação ( $FD_w$ ) das amostras para as seis zonas da fachada.

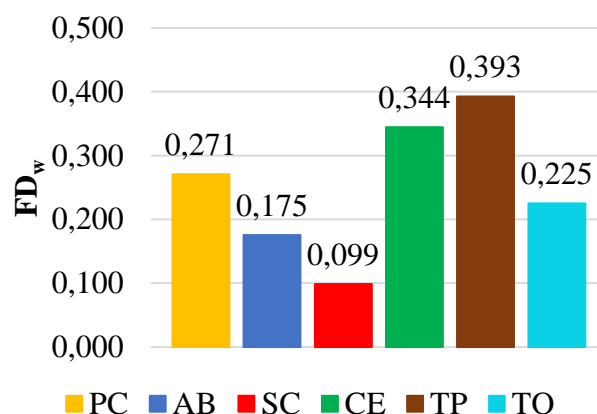


Figura 4.10 – Fator de Danos Ponderado por zona

Analisando a Figura 4.10 pode-se afirmar que a zona de fachada mais crítica, em termos de intensidade de degradação, é TP (0,393). Na sequência aparecem as zonas CE (0,344), PC (0,271), TO (0,225), AB (0,175) e SC (0,099), respectivamente.

A fim de associar a área total de dano com sua intensidade, a Tabela 4.6 apresenta a área total de dano por zona.

Tabela 4.6 – Área total de danos por zona de fachada (m<sup>2</sup>)

Zona	Área
<b>Paredes Contínuas (PC)</b>	3252,50
<b>Aberturas (AB)</b>	1160,25
<b>Sacadas (SC)</b>	343,50
<b>Cantos e Extremidades (CE)</b>	440,25
<b>Transição de Pavimentos (TP)</b>	705,50
<b>Topo (TO)</b>	506,25

A Tabela 4.6 mostra que as zonas PC (3252,50), AB (1160,25) e TP (705,50) contêm as maiores áreas de danos, enquanto TO (506,25), CE (440,25) e SC (343,50) apresentam as menores.

Ao analisar conjuntamente a Figura 4.10 e a Tabela 4.6, nota-se que a ordenamento das zonas mais críticas com base no Fator de Danos Ponderado (FD<sub>w</sub>) não tem relação direta com a extensão da área do dano das zonas. Deste modo, independentemente do total de danos registrado para cada zona, o resultado de FD<sub>w</sub> depende, exclusivamente, da proporção entre a área degradada na zona e a área total da zona em cada amostra estudada.

Como exemplos desta constatação, podem ser citadas as paredes contínuas (PC), que apresentam área total de danos em fachada superior às demais zonas, mas têm apenas o

terceiro valor mais crítico do  $FD_w$  e as aberturas (AB), que apresentam a segunda maior área de danos em fachada, mas somente o penúltimo valor de  $FD_w$ .

### 4.3.2 Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio por orientação

O cálculo do  $FD_w$  por orientação consiste na aplicação direta da Equação 3.2, onde a área danificada na zona ( $A_{dz}$ ) é calculada com base na orientação de cada uma das amostras. Os resultados da Figura 4.11 correspondem à média dos valores do indicador de degradação nas orientações Norte, Sul, Leste e Oeste.

De acordo com a Figura 4.11 as zonas TP, CE e PC mostram-se mais críticas, em termos de intensidade de degradação, nas orientações Norte, Sul e Leste. Na orientação Oeste destacam-se PC (0,272), CE (0,271) e TP (0,267). Estes resultados mostram que para Norte, Sul e Leste a ordem de criticidade dos valores de  $FD_w$  nas zonas se repete, invertendo apenas em Oeste.

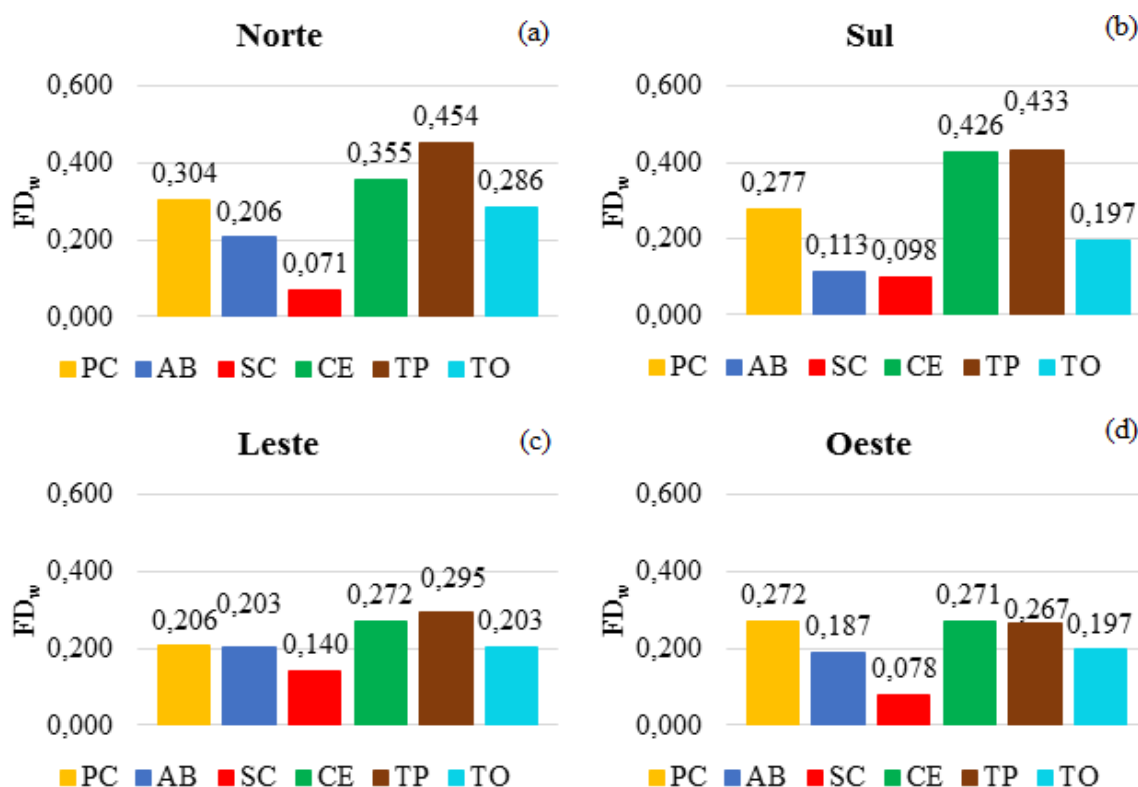


Figura 4.11 – Fator de Danos Ponderado por zona e orientação (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste

Na orientação Norte a zona TO (0,286) aparece como a quarta zona mais afetada, seguida por AB (0,206) e SC (0,071). Para a orientação Sul observa-se valor elevado para o indicador de degradação na zona TO (0,197), com respostas menos intensas para AB (0,113) e SC (0,098).



No caso da orientação Leste, não se observam diferenças entre as intensidades dos danos das zonas PC (0,203) e AB (0,203) e, na sequência, a zona SC (0,140) aparece como a menos crítica. Por último, na orientação Oeste, a intensidade da degradação é maior para as zonas TO (0,197), AB (0,187) e SC (0,078).

Com relação à ordem de grandeza de  $FD_w$  nas diferentes orientações, não se observam grandes variações dos valores, destacando-se apenas a intensidade mais elevada do indicador nas orientações Norte e Sul, para as zonas CE e TP.

A Tabela 4.7 apresenta a área total de dano por zona para as quatro orientações. Estes dados são importantes para a compreensão da relação entre a extensão total de dano nas zonas e sua intensidade da degradação, em termos da orientação das amostras.

Tabela 4.7 – Área total de danos por orientação (m<sup>2</sup>)

<b>Zona</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>
<b>Paredes Contínuas (PC)</b>	1216,75	849,75	687,75	498,25
<b>Aberturas (AB)</b>	407,50	296,25	258,75	197,75
<b>Sacadas (SC)</b>	59,25	81,75	146,25	56,25
<b>Cantos e Extremidades (CE)</b>	189,25	143,25	60,25	47,50
<b>Transição de Pavimentos (TP)</b>	280,50	228,75	130,75	65,50
<b>Topo (TO)</b>	189,50	87,75	133,00	96,00

Conforme mostra a Tabela 4.7, na orientação Norte, a ordem decrescente da área total de dano nas zonas é PC, AB, TP, TO, CE e SC. Para a orientação Sul a ordem é PC, AB, TP, CE, TO e SC, para Leste é PC, AB, SC, TO, TP e CE e em Oeste é PC, AB, TO, TP, SC e CE. Portanto, não se observa uma ordem fixa de ocorrência dos danos para as zonas nas diferentes orientações, embora as maiores áreas, para todos os casos, sejam de PC e AB.

Ao associar os resultados da Tabela 4.7 com os da Figura 4.11, nota-se que, assim como indicava a tendência global (Figura 4.10), não se pode estabelecer uma relação direta entre a extensão total de danos por zona em cada orientação com o indicador de degradação das zonas, uma vez que, independente da orientação, para a área degradada destacam-se as zonas PC e AB e para intensidade de degradação as zonas TP, CE e PC.

### 4.3.3 Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio por tipo de elemento construtivo

O cálculo do  $FD_w$  por tipo de elemento construtivo consiste na aplicação direta da Equação 3.2, restringindo área danificada na zona ( $A_{dz}$ ) pelo tipo de elemento construtivo de cada uma

das amostras. Os resultados da Figura 4.12 correspondem à média dos valores do indicador de degradação para Caixa de Escada, Prumada e Empena.

Pode-se afirmar, com base na Figura 4.12, que nas caixas de escada, as zonas TO (0,727), TP (0,664) e PC (0,637) mostram-se mais críticas, seguidas por CE (0,467) e AB (0,280). A zona SC, neste caso, tem resposta nula, uma vez que as sacadas não fazem parte deste tipo de elemento construtivo.

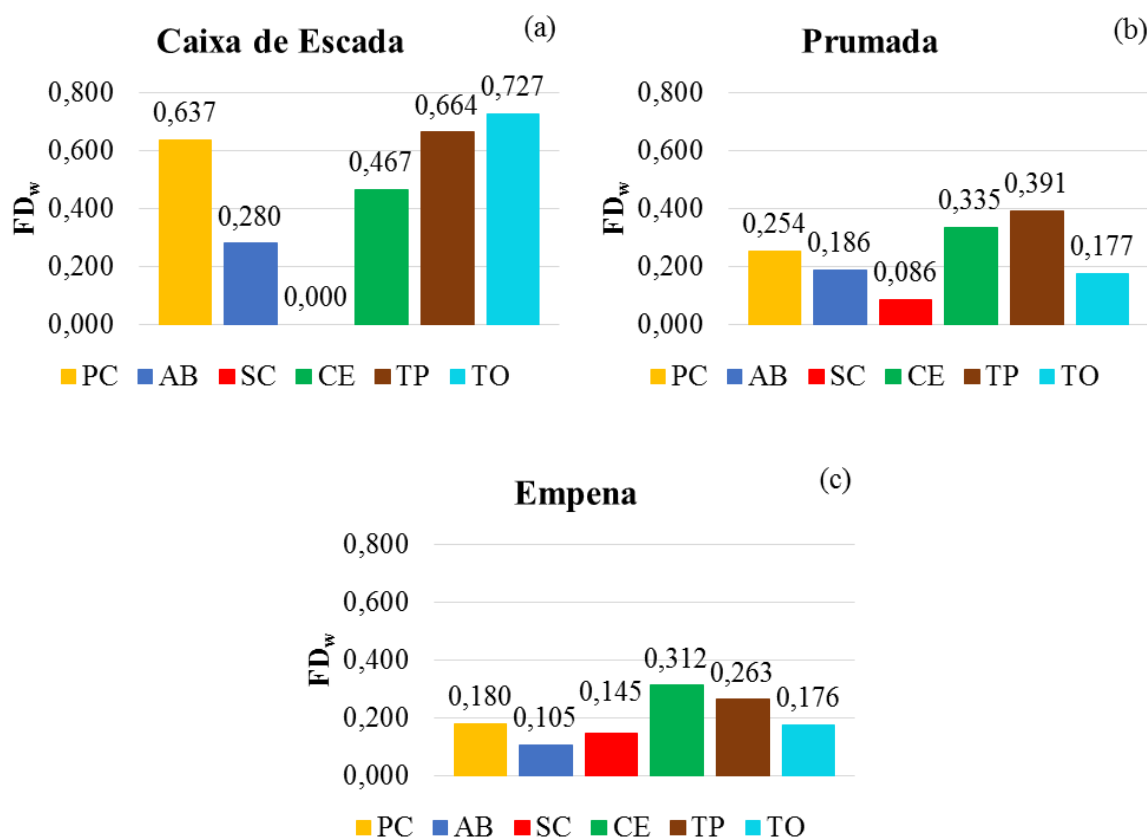


Figura 4.12 – Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de elemento construtivo (a) Caixa de Escada; (b) Prumada; (c) Empena

Para as prumadas as zonas mais intensamente afetadas são TP (0,391), CE (0,335) e PC (0,254), seguidas por AB (0,186), TO (0,177) e SC (0,086). Nas empenas, nota-se que as zonas mais críticas são CE (0,312), TP (0,263) e PC (0,180), seguidas por TO (0,176), SC (0,145), e AB (0,105).

Na Figura 4.12, além disso, não se observa uma ordem fixa para as zonas em termos de intensidade da degradação. Este resultado mostra, com bastante clareza, o fato de que cada um dos elementos construtivos é afetado de maneira distinta, o que tem relação com a diferenciação entre os elementos de arquitetura que os compõem.

Os valores referentes ao  $FD_w$  das caixas de escada são de uma a quatro vezes superiores aos valores das prumadas e empenas, para as diferentes zonas estudadas. Esta constatação permite levantar a hipótese de que este tipo de elemento construtivo tende a apresentar níveis de degradação mais intensos. Neste aspecto, realizar uma investigação baseada na Nota Técnica, índice capaz de representar a sensibilidade da amostra a partir da ocorrência de aspectos construtivos (HENRIQUE, 2017), pode contribuir para o melhor entendimento da influência das características construtivas na degradação das fachadas.

A fim de associar a área de dano nas zonas com a intensidade da degradação, a Tabela 4.8 apresenta a área total de dano por zona para cada tipo de elemento construtivo.

Tabela 4.8 – Área de dano por tipo de elemento construtivo (m<sup>2</sup>)

<b>Zona</b>	<b>Caixa de Escada</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
<b>Paredes Contínuas (PC)</b>	226,00	2323,50	703,00
<b>Aberturas (AB)</b>	5,25	1113,00	42,00
<b>Sacadas (SC)</b>	-	195,75	147,75
<b>Cantos e Extremidades (CE)</b>	41,25	320,25	78,75
<b>Transição de Pavimentos (TP)</b>	54,25	472,50	178,75
<b>Topo (TO)</b>	144,00	269,50	92,75

Conforme mostra a Tabela 4.8, nas caixas de escada, as zonas PC (226,00), TO (144,00) e TP (54,25) apresentam as maiores áreas de danos totais. Esta sequência, entretanto, não é a mesma do indicador de degradação ( $FD_w$ ) nas zonas (TO, TP, PC), embora as zonas sejam as mesmas. Nas prumadas, as zonas PC (2323,50), AB (1113,00) e TP (472,50) apresentam as maiores áreas de dano, sendo, entretanto, TP, CE e PC as zonas mais críticas em relação ao  $FD_w$ . Nas empenas, as zonas PC (703,0), TP (178,75) e SC (147,75) apresentam maior área danificada, não sendo, no entanto, as zonas mais críticas em termos de  $FD_w$  (CE, TP e PC).

#### **4.3.4 Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio por tipo de anomalia**

A intensidade da degradação das zonas em termos de cada uma das anomalias estudadas é avaliada por meio do cálculo do  $FD_w$  de todas as amostras de fachada. O resultado pode ser visto na Figura 4.13 e corresponde à média dos valores do indicador de degradação das amostras.

Conforme mostra a Figura 4.13, não se observa um ordenamento da intensidade ( $FD_w$ ) das anomalias nas seis zonas. Para o DC, observa-se uma intensidade da degradação nas zonas TP e CE, sendo a intensidade da degradação em TP, aproximadamente, de uma a cinco vezes superior às demais zonas. O  $FD_w$  de FI é cerca de duas a quatro vezes superior na zona CE, do

que nas outras zonas, com  $FD_w$  bastante significativa na zona TO. Para a anomalia FR, a zona TO (0,201) é a mais crítica, seguida por TP (0,131). Nota-se ainda que, para esta anomalia, existe um equilíbrio na intensidade dos danos nas zonas PC, AB e CE, sendo SC (0,050) a zona menos crítica à FR. As eflorescências (EF) são mais críticas na zona PC, seguida pelas zonas CE e SC, que apresentam igual valor de  $FD_w$ .

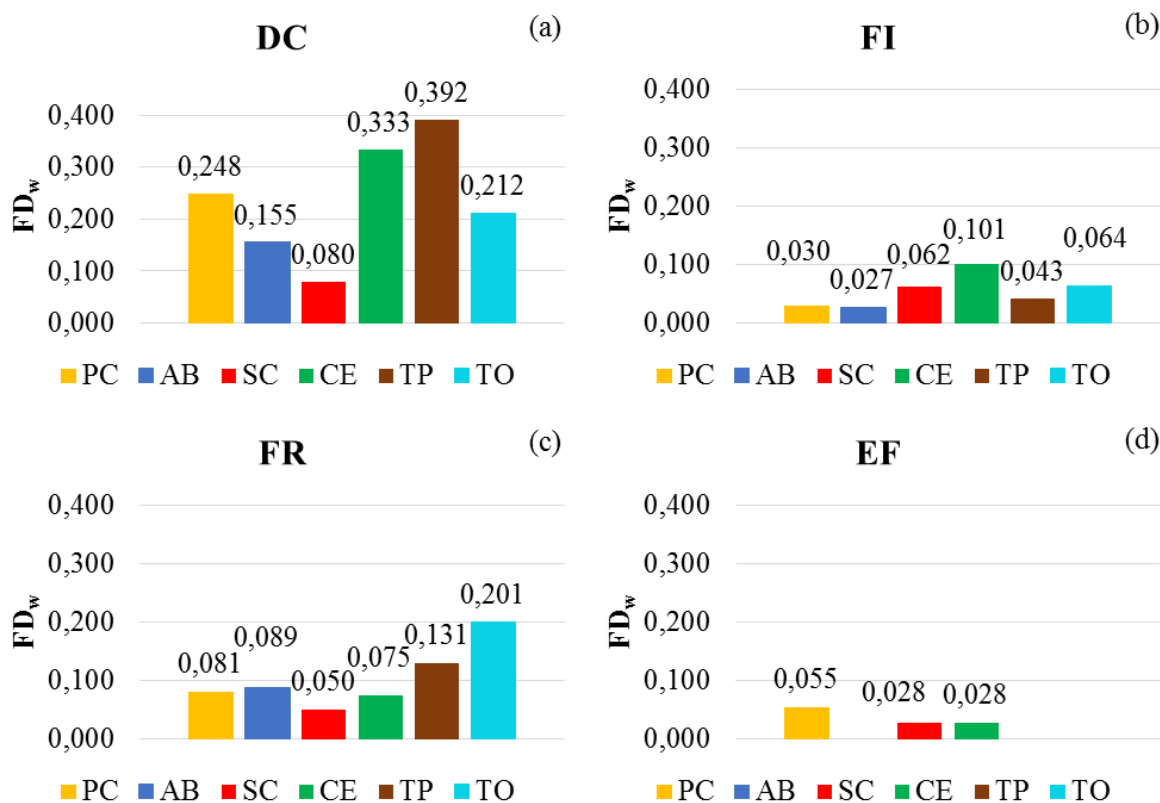


Figura 4.13 – Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de anomalia (a) DC; (b) FI; (c) FR; (d) EF

Em termos de ordem de grandeza do indicador de degradação  $FD_w$ , observa-se que o descolamento cerâmico (DC) apresenta as maiores médias de valores para todas as zonas, seguido por falha de rejunte (FR), fissuração (FI) e eflorescências (EF). Resultado similar ao encontrado na análise da probabilidade de ocorrência frequencista dos danos.

#### 4.3.5 Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) médio por grupo de idade

A intensidade da degradação das zonas é avaliada por meio do cálculo do  $FD_w$  de todas as amostras de fachada, para todas as condições analisadas anteriormente, agora em função da idade das amostras de fachada. Os resultados, que correspondem à média dos valores do indicador de degradação das amostras, são apresentados para cada grupo de idade a seguir.

### 4.3.5.1 Grupo 1 (5 a 14 anos)

Os resultados médios do indicador de degradação ( $FD_w$ ) das amostras para o Grupo 1 são apresentados para as variáveis independentes orientação, na Figura 4.14, e tipo de elemento construtivo, na Figura 4.15.

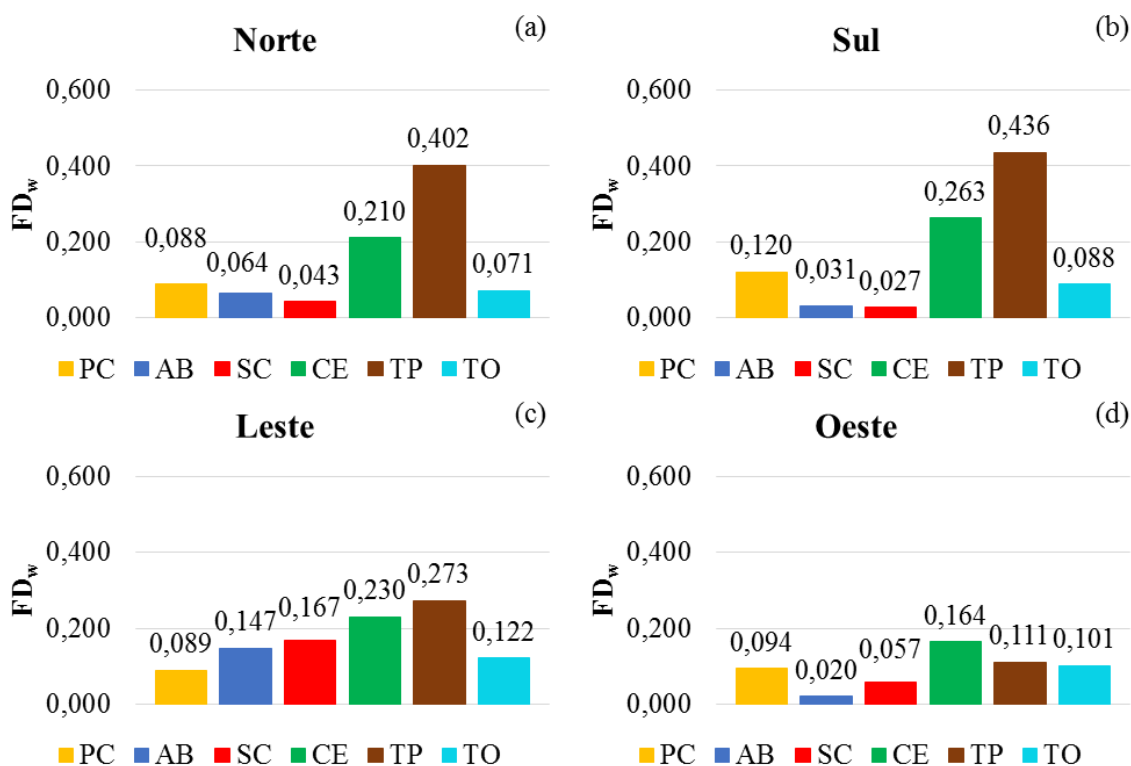


Figura 4.14 - Fator de Danos Ponderado por zona e orientação no Grupo 1: (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste

De acordo com a Figura 4.14, para o Grupo 1 as zonas TP, CE e PC mostram-se mais críticas, em termos de intensidade de degradação, nas orientações Norte, Sul e Oeste. Na orientação Leste destacam-se TP, CE e SC. Com relação à ordem de grandeza de  $FD_w$ , destacam-se as orientações Norte e Sul, principalmente na zona TP.

Para os tipos de elemento construtivo, a Figura 4.15 mostra que o valor do indicador de degradação ( $FD_w$ ) para as zonas PC, AB, SC e TO têm a mesma ordem de grandeza, que é significativamente menor que nas zonas TP e CE. Observa-se, além disso, que a tendência de comportamento da intensidade da degradação para as prumadas e empenas é parecida, havendo inversão apenas das zonas mais críticas. Nos elementos do tipo prumada, destaca-se a zona TP (0,395), enquanto nas prumadas destaca-se a zona CE (0,306).

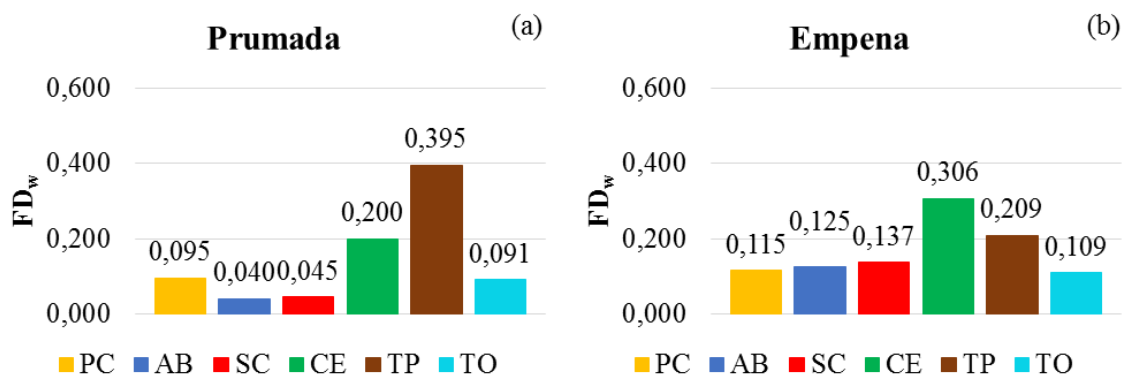


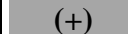
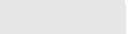
Figura 4.15 - Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de elemento construtivo no Grupo 1:  
(a) Prumada; (b) Empena

O comportamento da intensidade da degradação no Grupo 1 em função dos diferentes tipos de anomalias e das variáveis independentes, é apresentado a Tabela 4.9, em que os valores do índice de degradação (FD<sub>w</sub>) são coloridos na escala de cinza, onde a cor mais escura representa o maior valor, e a mais clara o menor.

Para os edifícios do Grupo 1 (Tabela 4.9), que são os mais jovens, nota-se que a zona de transição de pavimentos (TP) é a mais intensamente degradada, seguida pelos cantos e extremidades (CE) e paredes contínuas (PC). Comportamento este associado ao fato de que nas orientações Norte, Sul e Oeste estas zonas se destacaram como as mais críticas (Figura 4.14).

As maiores médias de FD<sub>w</sub> são observadas para o DC, FR, FI e, por último, para EF. O DC é mais intenso nas orientações Leste, Sul e Norte, as FI são mais intensas nas orientações Oeste, Leste e Sul. A FR é mais intensa nas orientações Norte, Sul e Oeste e as EF aparecem apenas na orientação Norte. Com relação ao tipo de elemento construtivo, o Grupo 1 não contempla edifícios com amostras de caixas de escada, portanto os resultados são nulos. As prumadas se mostram mais críticas para o DC e a FI, enquanto as empenas para a FR e a EF.

Tabela 4.9 – Fator de Danos Ponderado para o Grupo 1

Grupo 1 (5 a 14 anos)								
Total de Danos	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,088	0,120	0,089	0,094	0,000	0,095	0,115
	AB	0,064	0,031	0,147	0,020	0,000	0,040	0,125
	SC	0,043	0,027	0,167	0,057	-	0,045	0,137
	CE	0,210	0,263	0,230	0,164	0,000	0,200	0,306
	TP	0,402	0,436	0,273	0,111	0,000	0,395	0,209
	TO	0,071	0,088	0,122	0,101	0,000	0,091	0,109
	Média	<b>0,146</b>	<b>0,161</b>	<b>0,171</b>	<b>0,091</b>	<b>0,000</b>	<b>0,144</b>	<b>0,167</b>
DC	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,087	0,118	0,096	0,096	0,000	0,095	0,122
	AB	0,051	0,029	0,189	0,021	0,000	0,040	0,122
	SC	0,039	0,028	0,168	0,045	-	0,034	0,156
	CE	0,200	0,279	0,266	0,207	0,000	0,213	0,338
	TP	0,429	0,425	0,265	0,112	0,000	0,398	0,230
	TO	0,059	0,087	0,166	0,064	0,000	0,082	0,113
	Média	<b>0,144</b>	<b>0,161</b>	<b>0,192</b>	<b>0,091</b>	<b>0,000</b>	<b>0,143</b>	<b>0,180</b>
FI	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,018	0,050	0,023	0,025	0,000	0,010	0,104
	AB	0,027	0,002	0,000	0,022	0,000	0,005	0,064
	SC	0,016	0,009	0,000	0,000	-	0,014	0,007
	CE	0,009	0,018	0,014	0,002	0,000	0,009	0,039
	TP	0,021	0,000	0,004	0,028	0,000	0,020	0,000
	TO	0,000	0,039	0,039	0,045	0,000	0,046	0,020
	Média	<b>0,018</b>	<b>0,024</b>	<b>0,020</b>	<b>0,024</b>	<b>0,000</b>	<b>0,017</b>	<b>0,047</b>
FR	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,020	0,006	0,005	0,004	0,000	0,006	0,038
	AB	0,025	0,011	0,010	0,006	0,000	0,015	0,017
	SC	0,021	0,000	0,053	0,056	-	0,050	0,000
	CE	0,021	0,020	0,032	0,028	0,000	0,027	0,009
	TP	0,219	0,072	0,019	0,052	0,000	0,126	0,020
	TO	0,219	0,102	0,026	0,085	0,000	0,070	0,141
	Média	<b>0,088</b>	<b>0,042</b>	<b>0,024</b>	<b>0,038</b>	<b>0,000</b>	<b>0,049</b>	<b>0,045</b>
EF	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,000	0,000	0,000	0,055	0,000	0,055	0,000
	AB	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	SC	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000	0,000
	CE	0,000	0,000	0,000	0,028	0,000	0,028	0,000
	TP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	TO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Média	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,041</b>	<b>0,000</b>	<b>0,041</b>	<b>0,000</b>
Legenda:		(+) 			(-) 			
Zonas: Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO)								

### 4.3.5.2 Grupo 2 (15 a 24 anos)

A média dos valores do indicador de degradação ( $FD_w$ ) no Grupo 2 é apresentada a seguir para orientação (Figura 4.16) e tipo de elemento construtivo (Figura 4.17).

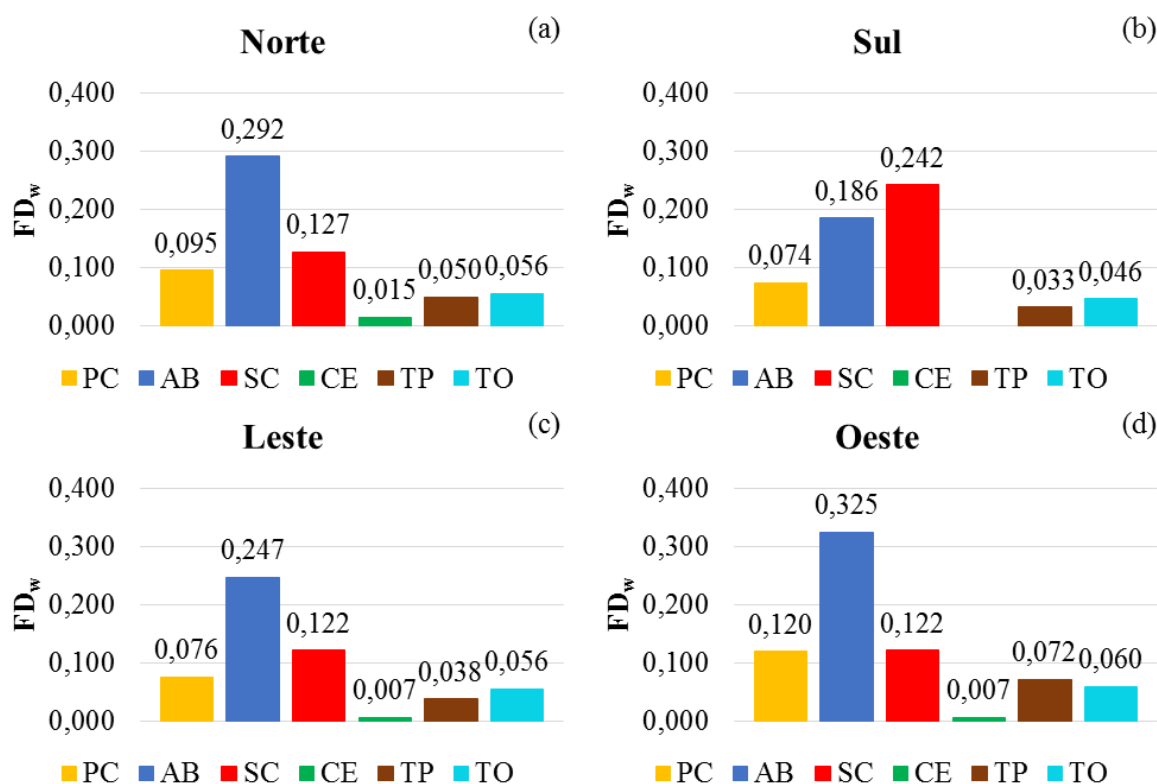


Figura 4.16 - Fator de Danos Ponderado por zona e orientação no Grupo 2: (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste

A Figura 4.16 mostra que, para o Grupo 2 o ordenamento das zonas mais intensamente degradadas varia conforme a orientação. Entretanto, em geral, as zonas AB, SC e PC apresentam os maiores valores médios de  $FD_w$ . Neste grupo a intensidade da degradação das zonas CE, TP e TO também varia nas diferentes orientações, apresentando, porém, valores de ordem de grandeza consideravelmente menor que as demais.

Nota-se na Figura 4.17 que a intensidade da degradação nas zonas também varia com relação ao tipo de elemento construtivo. Para as prumadas destacam-se as zonas AB (0,327), SC (0,135) e PC (0,120), assim como observado para as diferentes orientações. Com relação às empenas, porém, destacam-se as zonas SC (0,156), TP (0,076) e TO (0,064).



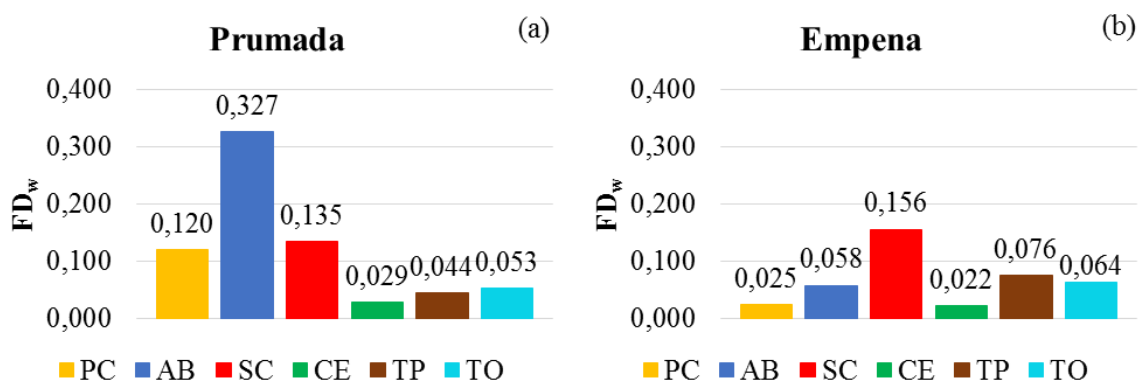


Figura 4.17 - Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de elemento construtivo no Grupo 2:  
(a) Prumada; (b) Empena

Para avaliar a relação dos diferentes tipos de anomalias com as variáveis independentes do estudo, os valores médios para o indicador de degradação ( $FD_w$ ) são mostrados na Tabela 4.10. Na tabela, os valores do índice são coloridos na escala de cinza, onde a cor mais escura representa o maior valor, e a mais clara o menor.

No Grupo 2, conforme mostra a Tabela 4.10, as zonas mais críticas são AB, SC e PC, assim como já mostrado na análise da Figura 4.16 e da Figura 4.17, resultado associado, principalmente, as orientações Norte e Leste e ao elemento construtivo do tipo prumada.

O  $FD_w$  apresenta as maiores médias para o DC, FI, EF e FR, nesta ordem. O DC é mais intenso nas orientações Norte, Oeste e Sul e as FI são mais intensas nas orientações Leste, Sul e Norte. A FR aparece apenas na orientação Norte e as EF são mais intensas nas orientações Norte e Sul.

Assim como o Grupo 1, o Grupo 2 não contempla edifícios com amostras de caixas de escada, portanto os resultados são nulos. As prumadas se mostram mais críticas para DC e FR, enquanto as empenas para FI e EF.

Tabela 4.10 - Fator de Danos Ponderado para o Grupo 2

Grupo 2 (15 a 24 anos)								
	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
Total de Danos	PC	0,095	0,074	0,076	0,120	0,000	0,120	0,025
	AB	0,292	0,186	0,247	0,325	0,000	0,327	0,058
	SC	0,127	0,242	0,122	0,099	-	0,135	0,156
	CE	0,015	-	0,037	0,007	0,000	0,029	0,022
	TP	0,050	0,033	0,072	0,038	0,000	0,044	0,076
	TO	0,056	0,046	0,060	0,056	0,000	0,053	0,064
	<b>Média</b>	<b>0,106</b>	<b>0,116</b>	<b>0,102</b>	<b>0,108</b>	<b>0,000</b>	<b>0,118</b>	<b>0,067</b>
DC	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,110	0,088	0,088	0,118	0,000	0,118	0,034
	AB	0,360	0,182	0,266	0,325	0,000	0,326	0,057
	SC	0,049	0,153	0,105	0,096	-	0,116	0,046
	CE	0,000	0,000	0,017	0,007	0,000	0,007	0,017
	TP	0,035	0,039	0,053	0,009	0,000	0,041	0,052
	TO	0,034	0,047	0,031	0,045	0,000	0,039	0,041
<b>Média</b>	<b>0,117</b>	<b>0,102</b>	<b>0,093</b>	<b>0,100</b>	<b>0,000</b>	<b>0,108</b>	<b>0,041</b>	
FI	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,004	0,003	0,013	0,006	0,000	0,005	0,011
	AB	0,007	0,021	0,023	0,000	0,000	0,005	0,024
	SC	0,085	0,111	0,055	0,043	-	0,055	0,124
	CE	0,015	0,000	0,042	0,000	0,000	0,039	0,022
	TP	0,041	0,030	0,077	0,033	0,000	0,035	0,071
	TO	0,047	0,022	0,053	0,039	0,000	0,045	0,048
<b>Média</b>	<b>0,033</b>	<b>0,037</b>	<b>0,044</b>	<b>0,030</b>	<b>0,000</b>	<b>0,031</b>	<b>0,050</b>	
FR	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
	AB	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	SC	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000	0,000
	CE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	TP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	TO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Média</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	
EF	Zona	Norte	Sul	Leste	Oeste	Caixa	Prumada	Empena
	PC	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	AB	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	SC	0,053	0,003	0,000	0,000	-	0,000	0,028
	CE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	TP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	TO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Média</b>	<b>0,053</b>	<b>0,003</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,028</b>	
<b>Legenda:</b>		(+)					(-)	
<b>Zonas:</b> Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO)								

### 4.3.5.3 Grupo 3 (25 a 48 anos)

Os valores médios do indicador de degradação ( $FD_w$ ) no Grupo 3 são apresentados abaixo para orientação (Figura 4.18) e tipo de elemento construtivo (Figura 4.19).

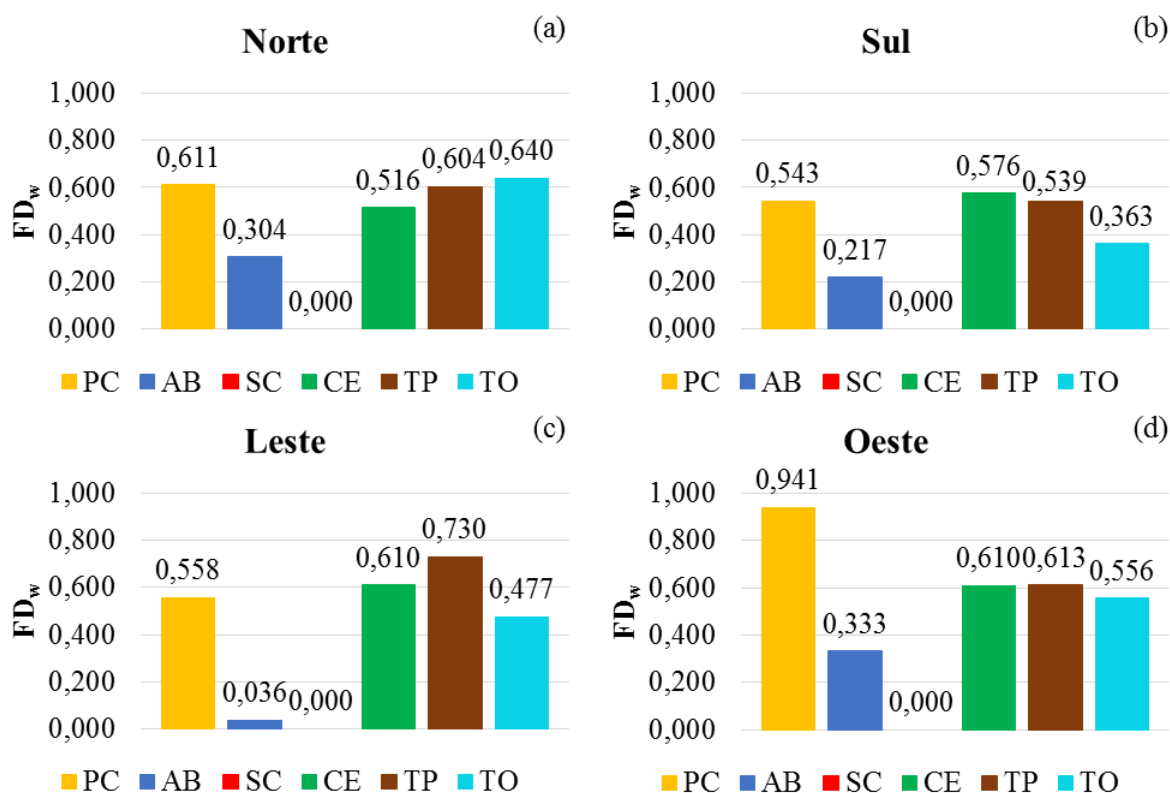


Figura 4.18 - Fator de Danos Ponderado por zona e orientação no Grupo 3: (a) Norte; (b) Sul; (c) Leste; (d) Oeste

De acordo com a Figura 4.18, nota-se que a ordem de grandeza dos valores de  $FD_w$  é consideravelmente elevada, sendo, em média, maior que nos grupos 1 e 2, independente da orientação e da zona avaliadas.

Na orientação Norte destacam-se as zonas TO (0,640), PC (0,611), TP (0,604) e CE (0,516). Para a orientação Sul as zonas mais intensamente afetadas são CE (0,576), PC (0,543) e TP (0,539). Na orientação Leste os maiores valores do indicador de degradação ( $FD_w$ ) aparecem nas zonas TP (0,613), CE (0,597), PC (0,558) e TO (0,556). Em Oeste as zonas que mais se destacam são PC(0,941), TP (0,730) e TO (0,477).

Na maior parte dos casos, observa-se valores do índice de degradação  $FD_w$  elevados e semelhantes para as zonas, nas diferentes orientações. Valores menores são observados apenas para a zona AB, independentemente da orientação. Estes resultados, assim como os da

probabilidade de ocorrência ( $P_f$ ), permitem sustentar a hipótese de que a intensidade da degradação também aumenta com o tempo (idade), uma vez que os edifícios pertencentes ao Grupo 3 apresentam as maiores idades da amostra estudada.

A Figura 4.19 mostra que o comportamento da degradação é semelhante nos diferentes tipos de elemento construtivo e nas orientações. Para todos os casos, as zonas PC, TP, TO, CE e SC aparecem com os maiores valores de  $FD_w$ . Nas caixas de escada destacam-se as zona TO (0,727), TP (0,664) e PC (0,637), nas prumadas as zonas CE (0,607), PC (0,587) e TP (0,566) e nas empenas, as zonas PC (0,617), TP (0,586) e TO (0,505).

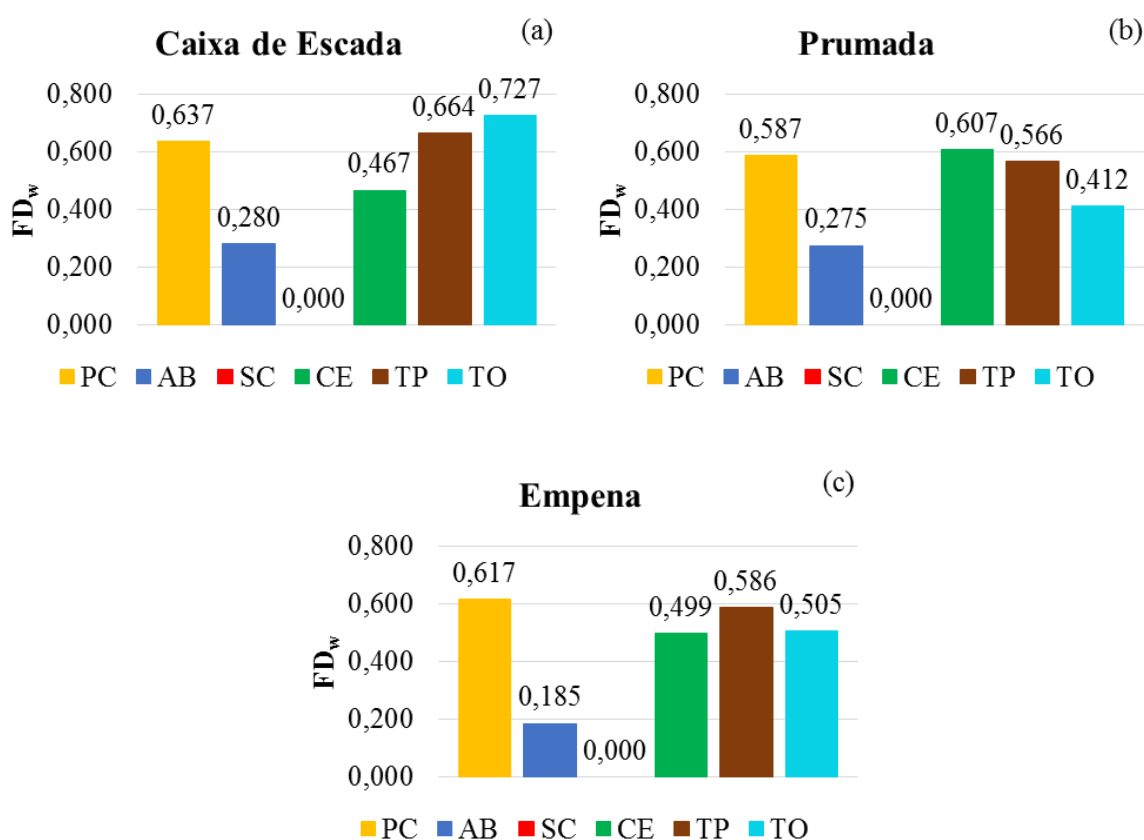


Figura 4.19 - Fator de Danos Ponderado por zona e tipo de elemento construtivo no Grupo 3:  
(a) Caixa de Escada; (b) Prumada; (c) Empena

Os resultados mostram que não há um ordenamento genérico das zonas, em termos de intensidade de degradação, para os diferentes tipos de elemento construtivo. Esta constatação está relacionada, principalmente, ao fato de que para os edifícios do Grupo 3, que têm idades entre 25 e 48 anos, há uma grande superposição dos efeitos das diferentes variáveis e agentes de degradação, que não são passíveis de controle.

Para avaliar o comportamento da intensidade da degradação no Grupo 3 em função dos diferentes tipos de anomalias e das variáveis independentes, é apresentada a Tabela 4.11. Nela, as médias do índice de degradação ( $FD_w$ ) são coloridas na escala de cinza, onde a cor mais escura representa o maior valor, e a mais clara o menor.

Com relação aos edifícios do Grupo 3, com maiores idades (Tabela 4.11), as zonas mais críticas são PC, TP e CE, porém não se pode afirmar qual das orientações contribuiu mais para este sequenciamento. As anomalias DC, FR e FI apresentam as maiores médias do indicador de degradação ( $FD_w$ ). O DC é mais intenso nas orientações Oeste, Leste e Sul, as FI são mais críticas nas orientações Sul, Norte e Oeste e a FR é mais intensa nas orientações Oeste, Leste e Norte. Não existem registros de EF para este grupo.

Para o DC as empenas são o elemento construtivo mais intensamente afetado, seguidas por prumadas e caixas de escada. As FI são mais intensas em prumadas, que nas empenas e caixas de escada e a FR é mais intensa em caixas de escada, que em prumadas e empenas. No geral, entretanto, como mostra o total de danos, as caixas de escada apresentam a maior intensidade de degradação nos edifícios mais antigos.

Tabela 4.11 - Fator de Danos Ponderado para o Grupo 3

<b>Grupo 3 (25 a 48 anos)</b>								
<b>Total de Danos</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	0,611	0,543	0,558	0,941	0,637	0,587	0,617
	AB	0,304	0,217	0,036	0,333	0,280	0,275	0,185
	SC	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000	0,000
	CE	0,516	0,576	0,597	0,610	0,467	0,607	0,499
	TP	0,604	0,539	0,613	0,730	0,664	0,566	0,586
	TO	0,640	0,363	0,556	0,477	0,727	0,412	0,505
<b>Média</b>	<b>0,535</b>	<b>0,447</b>	<b>0,472</b>	<b>0,618</b>	<b>0,555</b>	<b>0,490</b>	<b>0,478</b>	
<b>DC</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	0,503	0,471	0,429	0,699	0,462	0,498	0,548
	AB	0,198	0,072	0,000	0,333	0,133	0,158	0,333
	SC	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000	0,000
	CE	0,422	0,440	0,486	0,556	0,354	0,481	0,463
	TP	0,503	0,499	0,439	0,622	0,472	0,509	0,526
	TO	0,350	0,314	0,451	0,491	0,417	0,330	0,414
<b>Média</b>	<b>0,395</b>	<b>0,359</b>	<b>0,451</b>	<b>0,540</b>	<b>0,368</b>	<b>0,395</b>	<b>0,457</b>	
<b>FI</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	0,047	0,047	0,018	0,025	0,027	0,042	0,050
	AB	0,052	0,020	0,036	0,000	0,000	0,037	0,036
	SC	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000	0,000
	CE	0,102	0,347	0,036	0,000	0,000	0,225	0,037
	TP	0,066	0,026	0,000	0,024	0,028	0,040	0,067
	TO	0,152	0,058	0,032	0,158	0,000	0,124	0,091
<b>Média</b>	<b>0,084</b>	<b>0,100</b>	<b>0,030</b>	<b>0,069</b>	<b>0,027</b>	<b>0,094</b>	<b>0,056</b>	
<b>FR</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	0,093	0,082	0,123	0,327	0,189	0,081	0,046
	AB	0,141	0,124	0,000	0,000	0,220	0,122	0,000
	SC	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000	0,000
	CE	0,127	0,033	0,121	0,161	0,196	0,048	0,033
	TP	0,144	0,057	0,208	0,250	0,233	0,077	0,096
	TO	0,306	0,060	0,312	0,403	0,388	0,133	0,000
<b>Média</b>	<b>0,162</b>	<b>0,071</b>	<b>0,191</b>	<b>0,285</b>	<b>0,245</b>	<b>0,092</b>	<b>0,058</b>	
<b>EF</b>	<b>Zona</b>	<b>Norte</b>	<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	<b>Caixa</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>
	PC	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	AB	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	SC	0,000	0,000	0,000	0,000	-	0,000	0,000
	CE	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	TP	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	TO	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>Média</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	
<b>Legenda:</b>		(+)						(-)
<b>Zonas:</b> Paredes Contínuas (PC), Aberturas (AB), Sacadas (SC), Cantos e Extremidades (CE), Transição de Pavimentos (TP) e Topo (TO)								

#### 4.3.6 Síntese e discussão dos resultados de intensidade da degradação

Um resumo das respostas obtidas para as médias de todas as amostras de fachada para o indicador de degradação Fator de Danos Ponderado é apresentado na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 - Resumo dos resultados médios de  $FD_w$  para cada estudo

<b>Toda a Amostra</b>		<b>Caixa de Escada</b>	<b>Prumada</b>	<b>Empena</b>	
+	TP	TO	TP	CE	
	CE	TP	CE	TP	
	PC	PC	PC	PC	
	↓	TO	CE	AB	TO
		AB	AB	TO	SC
		SC	*	SC	AB
<b>Norte</b>		<b>Sul</b>	<b>Leste</b>	<b>Oeste</b>	
+	TP	TP	TP	PC	
	CE	CE	CE	CE	
	PC	PC	PC	TP	
	↓	TO	TO	TO	TO
		AB	AB	AB	AB
		SC	SC	SC	SC
<b>DC</b>		<b>FI</b>	<b>FR</b>	<b>EF</b>	
+	TP	CE	TO	PC	
	CE	TO	TP	CE	
	PC	SC	AB	SC	
	↓	TO	TP	PC	*
		AB	PC	CE	*
		SC	AB	SC	*

Conforme mostra a Tabela 4.12, em termos de resposta da amostra toda, as zonas mais críticas são, em ordem decrescente, TP, CE, PC, TO, AB e SC. Esta ordem se repete nas orientações Norte, Sul e Leste, no elemento construtivo do tipo prumada e para a anomalia DC, indicando que estas são as variáveis independentes que tem maior responsabilidade em conduzir a macrotendência observada na amostra estudada.

O resumo dos resultados do indicador de degradação ( $FD_w$ ) referentes à avaliação da degradação nos grupos de idade pode ser visto na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Resumo dos resultados de  $FD_w$  nos grupos de idade

Variável		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Zona</b>	+	TP	AB	PC
	↓	CE	SC	TP
	-	PC	PC	CE
<b>Anomalia</b>	+	DC	DC	DC
	↓	FR	FI	FR
	-	FI	EF	FI
<b>Orientação</b>	+	Leste	Sul	Oeste
		Sul	Oeste	Norte
	↓	Norte	Leste	Leste
	-	Oeste	Norte	Sul
<b>Tipo de Elemento Construtivo</b>	+	Empena	Prumada	Caixa de Escada
	↓	Prumada	Empena	Prumada
	-	*	*	Empena

Em termos do indicador de degradação ( $FD_w$ ) nos grupos de idade, em geral, não se observa um ordenamento da degradação nas zonas para as diferentes orientações e tipos de elemento construtivo, conforme mostra a Tabela 4.13. Com relação às anomalias, no entanto, o descolamento cerâmico (DC) mostra-se mais crítico em todos os grupos de idade.

No Grupo 3, onde se encontram os edifícios com idade mais avançada, a degradação se mostra mais intensa nas orientações Oeste e Norte. Estes resultados vão de encontro com o que foi observado por Antunes (2010), Silva (2014) e Souza (2016) para edificações com sistema de revestimento cerâmico localizadas na cidade de Brasília.

Outra constatação importante é que as caixas de escada aparecem como o elemento mais crítico para os edifícios mais antigos (Grupo 3), sendo um indicativo de que este elemento se degrada de maneira mais intensa ao longo dos anos, devendo ser dada grande atenção à sua execução e projeto, a fim de evitar o surgimento de problemas que comprometam a segurança do edifício e também dos usuários.

Ao estabelecer uma análise baseada na média de toda a amostra (Tabela 4.12), informações consideravelmente distintas em termos grau de exposição das amostras e intensidade de degradação são computadas em conjunto, representando macrotendências dos dados estudados e indicando as zonas TP, PC, TO e CE tendem a apresentar níveis de degradação mais intensos.



Entretanto, ao realizar uma análise baseada na idade da edificação, concentrando em um mesmo grupo edifícios de características e níveis de exposição semelhantes, observa-se que a degradação se modifica nas zonas, orientações e tipos de elemento construtivo conforme o aumento da idade. Até 14 anos, são mais críticas as zonas TP, CE e PC, entre 15 e 24 anos são mais críticas as zonas AB, SC e PC e, para edifícios com idade superior a 25 anos, as zonas PC, TP e CE são as mais intensamente afetadas.

Desta maneira, na intenção de compreender o comportamento e a evolução da degradação das fachadas de edifícios, efetuar a avaliação por meio de grupos de idade tende a ser mais representativo da realidade do que a avaliação por meio da média da degradação de toda a amostra.

#### **4.4 Gravidade da Degradação**

##### **4.4.1 Análise 3 - Índice de Gravidade Relativa (IGR)**

A fim de determinar qual situação e, conseqüentemente, qual zona apresenta maior gravidade associada à degradação, tanto a intensidade da degradação ( $FD_w$ ) quanto a sua frequência de ocorrência devem ser investigadas em conjunto, uma vez que eventos com combinações distintas destes dois fatores são possíveis.

Para quantificar esses aspectos é calculado o Índice de Gravidade Relativa (IGR), que consiste no produto entre o valor médio do Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) e a sua frequência de ocorrência nas zonas. Este índice é calculado para cada zona de acordo com a Equação 3.3, e quanto maior o seu valor, mais grave é a degradação da zona.

Para este fim, a intensidade da degradação, representada pelo Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ), é classificada em quatro classes, nos três grupos de idade. Os intervalos de classe, apresentados da Tabela 4.14 a Tabela 4.16, são definidos por meio da diferença entre o valor máximo e mínimo do  $FD_w$  para cada zona. As frequências de ocorrência de danos relativas as zonas nas classes, que variam de 0 a 1, são apresentadas na Tabela 4.17.

Tabela 4.14 – Intervalos de classe de  $FD_w$  do Grupo 1

Classe		PC	AB	SC	CE	TP	TO
Classe 1	Mínimo	0,004	0,003	0,002	0,003	0,006	0,005
	<b>Médio</b>	<b>0,031</b>	<b>0,035</b>	<b>0,035</b>	<b>0,100</b>	<b>0,098</b>	<b>0,055</b>
	Máximo	0,064	0,096	0,100	0,253	0,223	0,132
Classe 2	Mínimo	0,064	0,096	0,100	0,253	0,223	0,132
	<b>Médio</b>	<b>0,089</b>	<b>0,144</b>	<b>0,115</b>	<b>0,276</b>	<b>0,000</b>	<b>0,179</b>
	Máximo	0,124	0,189	0,197	0,502	0,441	0,259
Classe 3	Mínimo	0,124	0,189	0,197	0,502	0,441	0,259
	<b>Médio</b>	<b>0,156</b>	<b>0,000</b>	<b>0,237</b>	<b>0,395</b>	<b>0,411</b>	<b>0,283</b>
	Máximo	0,185	0,282	0,295	0,751	0,658	0,386
Classe 4	Mínimo	0,185	0,282	0,295	0,751	0,658	0,386
	<b>Médio</b>	<b>0,219</b>	<b>0,375</b>	<b>0,393</b>	<b>0,889</b>	<b>0,818</b>	<b>0,513</b>
	Máximo	0,245	0,375	0,393	1,000	0,875	0,513

Tabela 4.15 - Intervalos de classe de  $FD_w$  do Grupo 2

Classe		PC	AB	SC	CE	TP	TO
Classe 1	Mínimo	0,003	0,013	0,011	0,007	0,010	0,013
	<b>Médio</b>	<b>0,010</b>	<b>0,034</b>	<b>0,043</b>	<b>0,015</b>	<b>0,031</b>	<b>0,022</b>
	Máximo	0,036	0,125	0,103	0,034	0,050	0,033
Classe 2	Mínimo	0,036	0,125	0,103	0,034	0,050	0,033
	<b>Médio</b>	<b>0,000</b>	<b>0,179</b>	<b>0,155</b>	<b>0,000</b>	<b>0,064</b>	<b>0,042</b>
	Máximo	0,068	0,238	0,194	0,062	0,091	0,054
Classe 3	Mínimo	0,068	0,238	0,194	0,062	0,091	0,054
	<b>Médio</b>	<b>0,077</b>	<b>0,319</b>	<b>0,219</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,065</b>
	Máximo	0,101	0,351	0,286	0,090	0,132	0,074
Classe 4	Mínimo	0,101	0,351	0,286	0,090	0,132	0,074
	<b>Médio</b>	<b>0,120</b>	<b>0,464</b>	<b>0,336</b>	<b>0,117</b>	<b>0,155</b>	<b>0,087</b>
	Máximo	0,134	0,464	0,378	0,117	0,172	0,095

Tabela 4.16 - Intervalos de classe de  $FD_w$  do Grupo 3

Classe		PC	AB	SC	CE	TP	TO
Classe 1	Mínimo	0,181	0,028	0,000	0,059	0,067	0,036
	<b>Médio</b>	<b>0,326</b>	<b>0,089</b>	<b>0,000</b>	<b>0,239</b>	<b>0,309</b>	<b>0,143</b>
	Máximo	0,416	0,158	0,000	0,392	0,505	0,294
Classe 2	Mínimo	0,416	0,158	0,000	0,392	0,505	0,294
	<b>Médio</b>	<b>0,545</b>	<b>0,224</b>	<b>0,000</b>	<b>0,518</b>	<b>0,677</b>	<b>0,403</b>
	Máximo	0,651	0,289	0,000	0,726	0,943	0,553
Classe 3	Mínimo	0,651	0,289	0,000	0,726	0,943	0,553
	<b>Médio</b>	<b>0,762</b>	<b>0,342</b>	<b>0,000</b>	<b>0,864</b>	<b>1,040</b>	<b>0,659</b>
	Máximo	0,885	0,419	0,000	1,059	1,381	0,812
Classe 4	Mínimo	0,885	0,419	0,000	1,059	1,381	0,812
	<b>Médio</b>	<b>1,015</b>	<b>0,498</b>	<b>0,000</b>	<b>1,250</b>	<b>1,819</b>	<b>0,947</b>
	Máximo	1,120	0,550	0,000	1,393	1,819	1,071

Tabela 4.17 – Frequência de ocorrência dos danos nos grupos

Grupo		PC	AB	SC	CE	TP	TO
<b>Grupo 1</b>	<b>Classe 1</b>	0,319	0,879	0,794	0,643	0,487	0,760
	<b>Classe 2</b>	0,340	0,091	0,118	0,048	0,000	0,180
	<b>Classe 3</b>	0,234	0,000	0,059	0,262	0,282	0,040
	<b>Classe 4</b>	0,106	0,030	0,029	0,048	0,231	0,020
<b>Grupo 2</b>	<b>Classe 1</b>	0,259	0,208	0,444	0,875	0,588	0,200
	<b>Classe 2</b>	0,000	0,042	0,296	0,000	0,294	0,240
	<b>Classe 3</b>	0,074	0,708	0,111	0,000	0,000	0,320
	<b>Classe 4</b>	0,667	0,042	0,148	0,125	0,118	0,240
<b>Grupo 3</b>	<b>Classe 1</b>	0,179	0,286	0,000	0,389	0,389	0,237
	<b>Classe 2</b>	0,487	0,333	0,000	0,278	0,500	0,263
	<b>Classe 3</b>	0,231	0,143	0,000	0,250	0,083	0,368
	<b>Classe 4</b>	0,103	0,238	0,000	0,083	0,028	0,132

Uma análise de risco simples, baseada no produto da intensidade de degradação ( $FD_w$ ) pela frequência de ocorrência das anomalias, permite identificar a magnitude da degradação em cada uma das zonas para as diferentes classes. Além disso, considerando zonas distintas na mesma classe e com resultados de  $FD_w$  próximos, o IGR é capaz de ilustrar com maior clareza qual a zona é mais gravemente afetada para cada intervalo de classe avaliado. O resultado de IGR para o Grupo 1 pode ser visto na Figura 4.20, para o Grupo 2 na Figura 4.21 e para o Grupo 3 na Figura 4.22.

### Grupo 1 (5 a 14 anos)

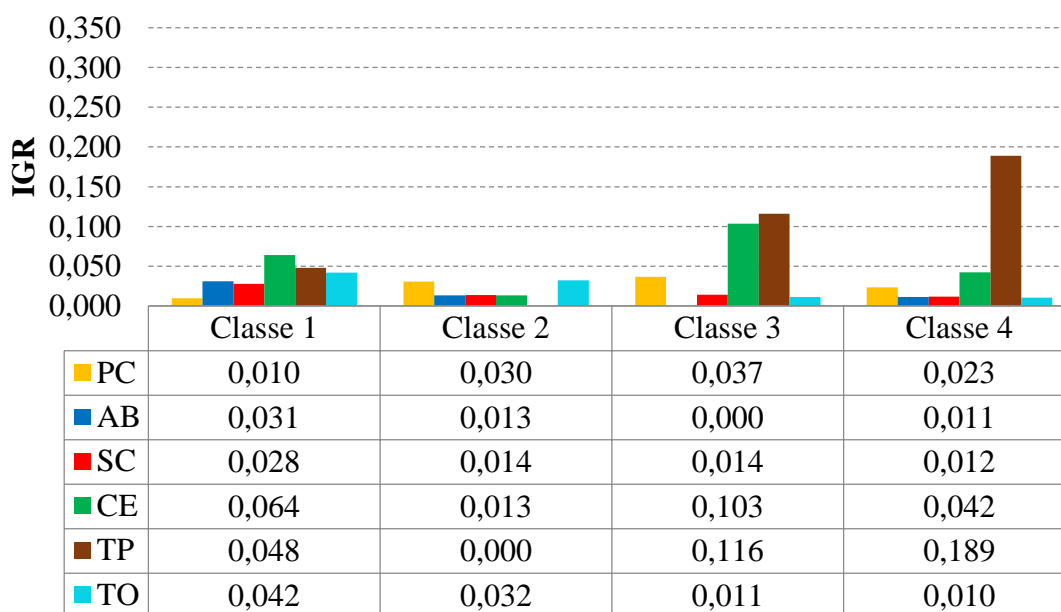


Figura 4.20 – Índice de Gravidade Relativa no Grupo 1

De acordo com a Figura 4.20, na Classe 1, as zonas com maior gravidade são CE (0,064), TP (0,048) e TO (0,042). As zonas AB (0,031) e SC (0,028) não apresentam diferença significativa entre si. A zona PC (0,010) tem o menor valor de IGR, que é de três a seis vezes menor que o das demais zonas.

Na Classe 2 destacam-se como mais graves as zonas TO (0,032) e PC (0,030), não sendo identificadas diferenças significativas entre as zonas SC (0,014), CE (0,013) e AB (0,013). As zonas TP (0,116), CE (0,103) e PC (0,037) destacam-se como as mais graves na Classe 3, com valores de IGR consideravelmente superiores as zonas SC (0,014) e TO (0,011). Na Classe 4, o maior valor de IGR é observado para a zona TP (0,189), seguido por CE (0,042) e PC (0,023), com gravidades similares nas zonas SC (0,012), AB (0,011) e TO (0,010).

Em primeira análise, chama atenção a variação da ordem de grandeza dos valores do IGR. A quase totalidade dos valores do índice na Classe 1 é superior aos valores encontrados para a Classe 2. Investigando a fundo a Tabela 4.14 e a Tabela 4.17, pode-se concluir que este resultado está relacionado ao fato de que a Classe 2 apresenta médias do Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) de duas a quatro vezes superiores as da Classe 1, entretanto, as frequências de ocorrência dos danos são inferiores para quase todas as zonas.

As classes 3 e 4 apresentam zonas com a ordem de grandeza do IGR maior que as demais classes avaliadas. Nesta condição, observa-se que, em geral, a média de  $FD_w$  é de uma a duas

vezes superior na Classe 4 em relação a Classe 3, mas sua frequência de ocorrência é sempre inferior. A zona TP se destaca na Classe 4, uma vez que a frequência de ocorrência é 0,8 vezes menor que na Classe 3, mas o  $FD_w$  é cerca de duas vezes maior, fazendo com que o produto dos dois fatores seja mais elevado nesta zona.

Neste caso, portanto, pode-se concluir que em edifícios com pequenas idades, ou seja, aqueles pertencentes ao Grupo 1 (5 a 14 anos), a frequência de ocorrência é mais determinante no resultado da gravidade relativa do que a intensidade dos danos. Desta forma, danos menos intensos, mas que aparecem mais ao longo dos planos de fachada tendem a ser mais graves para a edificação do que danos concentrados e com baixa frequência de ocorrência. No Grupo 1, as zonas que apresentam maior gravidade relativa são TP e CE.

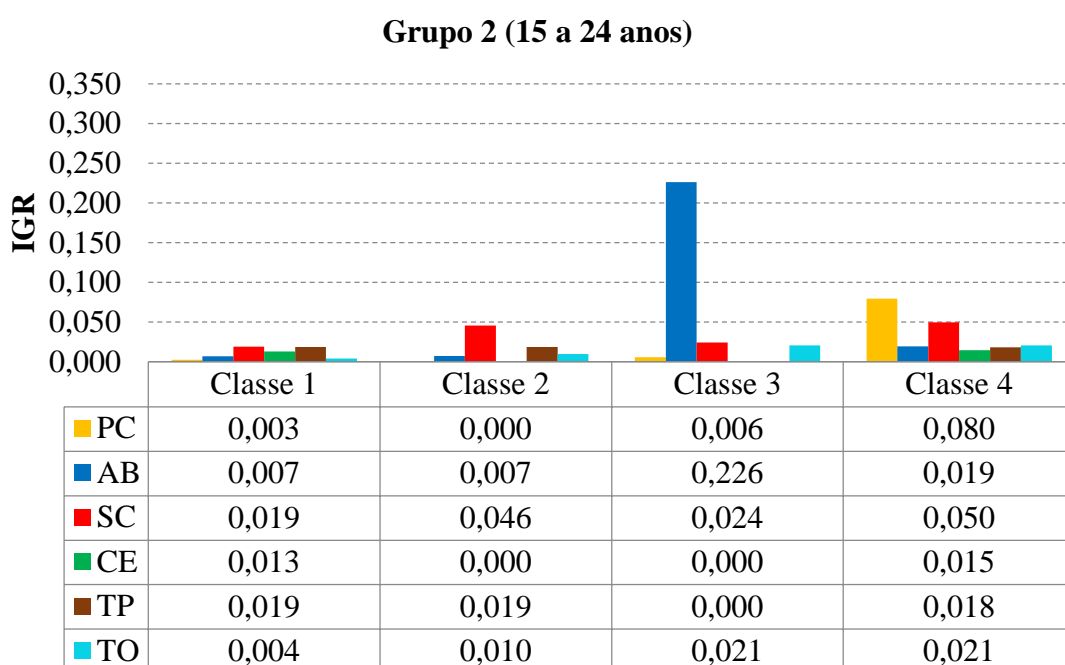


Figura 4.21 - Índice de Gravidade Relativa no Grupo 2

Avaliando a Figura 4.21, nota-se que a ordem de grandeza do IGR é bastante similar nas zonas, independente da classe, com poucos valores de destaque, que aparecem, principalmente, nas classes 3 e 4. Na Classe 1 destacam-se as zonas SC e TP, ambas com IGR igual a 0,019, na Classe 2 destaca-se a zona SC (0,046), na Classe 3 destaca-se a zona AB (0,226) e na Classe 4 as zonas PC (0,080) e SC (0,050).

Na Classe 1 as zonas PC (0,003), TO (0,004) e AB (0,007) apresentam os menores valores de IGR, enquanto a zona CE (0,013) apresenta valor intermediário. Para a Classe 2 o IGR é nulo para as zonas PC e CE, similar para AB (0,007) e TO (0,010) e intermediário para TP (0,019).

Na Classe 3, o menor valor de IGR é observado na zona PC (0,006), enquanto SC (0,024) e TO (0,021) apresentam valores intermediários e CE e TP apresentam valores são nulos. Por último, a Classe 4 mostra valores de IGR similares para as zonas CE (0,015), TP (0,018), AB (0,019) e TO (0,021), com valor intermediário em SC (0,050).

Para o Grupo 2, avaliando a Tabela 4.15 e a Tabela 4.17, observa-se que, em geral, a média de  $FD_w$  é de duas a cinco vezes superior na Classe 2 do que na Classe 1, mas sua frequência de ocorrência é quase sempre inferior, à exceção apenas da zona TO. O produto dos dois valores, conforme mostra a Figura 4.21, entretanto, é bastante similar, sendo difícil determinar, neste caso, se é mais crítica a intensidade ou a frequência de ocorrência dos danos.

Os únicos casos em que o valor de IGR é discrepante entre as duas classes são as zonas SC e TO. Nestas circunstâncias, o valor de frequência de ocorrência de danos na zona SC na Classe 1 é uma vez e meia superior do que na Classe 2. Entretanto, o valor da média de  $FD_w$  (0,155) nesta classe é cerca de quatro vezes inferior, sendo, desta forma, a intensidade da degradação a principal responsável pelo resultado de IGR. Para a zona TO, tanto a frequência de ocorrência quanto a intensidade dos danos são superiores na Classe 2, sendo este último fator aquele que contribui em maior proporção (1,88%) para o resultado de gravidade relativa encontrado.

A Classe 4 apresenta valores de  $FD_w$  cerca de uma vez e meia superiores aos da Classe 3, e valores de frequência de ocorrência superiores nas zonas PC e SC e inferiores em AB e TO. A Classe 4 concentra os maiores valores do IGR para as zonas PC, SC, CE e TO, e um dos maiores valores para a zona TP. A única exceção a esta observação se dá na zona AB, na Classe 3, que tem o maior valor de IGR do Grupo 2. Nesta situação, embora a média da intensidade de degradação seja menor, a frequência de ocorrência dos danos é dezessete vezes superior à da Classe 4, sendo, portanto, este fator, determinante para o valor do IGR.

O valor de IGR para a zona AB na Classe 3 chama atenção, uma vez que sua ordem de grandeza é consideravelmente discrepante em relação aos demais resultados encontrados para o índice. Este resultado provavelmente tem relação direta com a composição e as características das amostras de fachada pertencentes ao Grupo 2.

Por meio destas avaliações, nota-se que para os edifícios do Grupo 2 (15 a 44 anos), ou seja, aqueles que apresentam idades intermediárias, os resultados do IGR indicam em alguns casos ser mais crítica a frequência de ocorrência do que a intensidade dos danos mas, em outros, mostra ser mais crítica a intensidade dos danos do que sua frequência de ocorrência.

Este fato adverte que, para as condições do Grupo 2, o avanço da idade da edificação implica na diferenciação da influência conjunta do aumento da intensidade de degradação ( $FD_w$ ) e da variação da frequência de ocorrência dos danos nas zonas, se tornando difícil afirmar, de maneira genérica para todas as zonas, qual dos dois fatores é mais determinante. Em termos de gravidade relativa, a zona SC se destaca em todas as classes, e as zonas TP, AB e PC aparecem com valores consideráveis nas classes 1, 3 e 4, respectivamente.

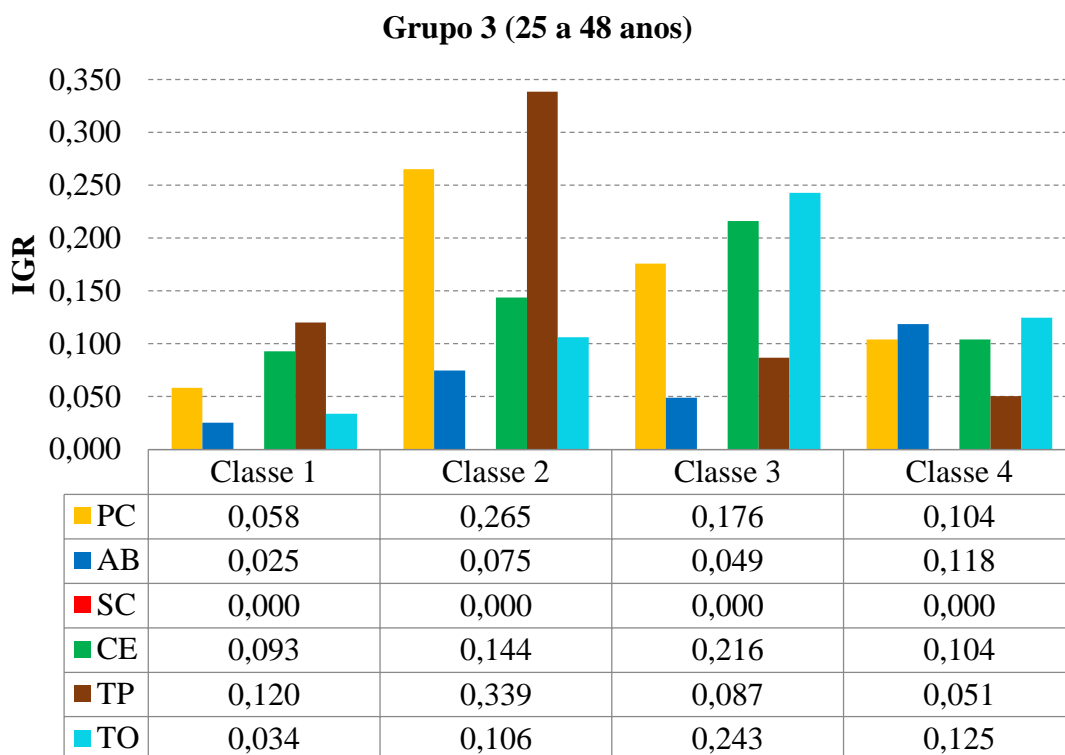


Figura 4.22 - Índice de Gravidade Relativa no Grupo 3

Avaliando a Figura 4.22, a primeira observação importante diz respeito à ordem de grandeza dos valores de IGR, que é superior à dos grupos 1 e 2 avaliados anteriormente, independente da classe. Chama atenção ainda, o fato de que não se observa um ordenamento dos valores das zonas nas classes, nem uma zona que se apresente mais grave em todas elas. Estes dados comprovam que os edifícios com idade mais avançada apresentam maior concentração de danos e, por consequência, maior gravidade relativa.

Conforme mostra a Tabela 4.16, a Classe 2 apresenta médias de  $FD_w$  de duas a três vezes superior à Classe 1 e, de acordo com a Tabela 4.17, a exceção de CE, a Classe 2 também apresenta valores de frequência de ocorrência de uma a três vezes superiores. Nestas condições, portanto, o  $FD_w$  é proporcionalmente mais determinante no resultado de IGR.

Com relação às classes 3 e 4, observa-se que, para a última, embora os valores de  $FD_w$  sejam cerca de uma vez e meia superiores, as frequências de ocorrência são inferiores nas zonas PC, CE, TP e TO, tornando o IGR destas zonas superiores na Classe 3. Desta maneira, para este caso, a frequência de ocorrência dos danos é mais determinante do que a sua intensidade.

Como resultado direto da maior dispersão dos valores de intensidade de degradação e também da frequência de ocorrência de danos que acompanha os edifícios do Grupo 3, nota-se uma mudança das zonas mais graves conforme a classe estudada. Desta maneira, com relação ao Índice de Gravidade Relativa (IGR), destacam-se na Classe 1 as zonas TP (0,120) e CE (0,093), na Classe 2 as zonas TP (0,339) e PC (0,265), na Classe 3 as zonas TO (0,243) e CE (0,216) e na Classe 4 as zonas TO (0,125) e AB (0,118).

Para os edifícios com idade mais avançada (Grupo 3), o que se pode afirmar é que é mais grave a ocorrência de defeitos com intensidades intermediárias e frequência de ocorrência de danos média ou alta, como é o caso das classes 2 e 3, do que nas demais combinações. Entretanto, em termos das zonas, não se pode determinar qual a mais grave dentre as seis estudadas.

#### **4.4.2 Fator de Danos Ponderado *versus* Fator de Danos da Zona**

A fim de complementar as observações e resultados obtidos por meio da avaliação do IGR, são avaliadas a influência da frequência de ocorrência e da intensidade na gravidade da degradação por meio da relação entre o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ) e o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ). Estes fatores representam respectivamente frequência e intensidade de degradação. Os resultados podem ser vistos da Figura 4.23 a Figura 4.25.



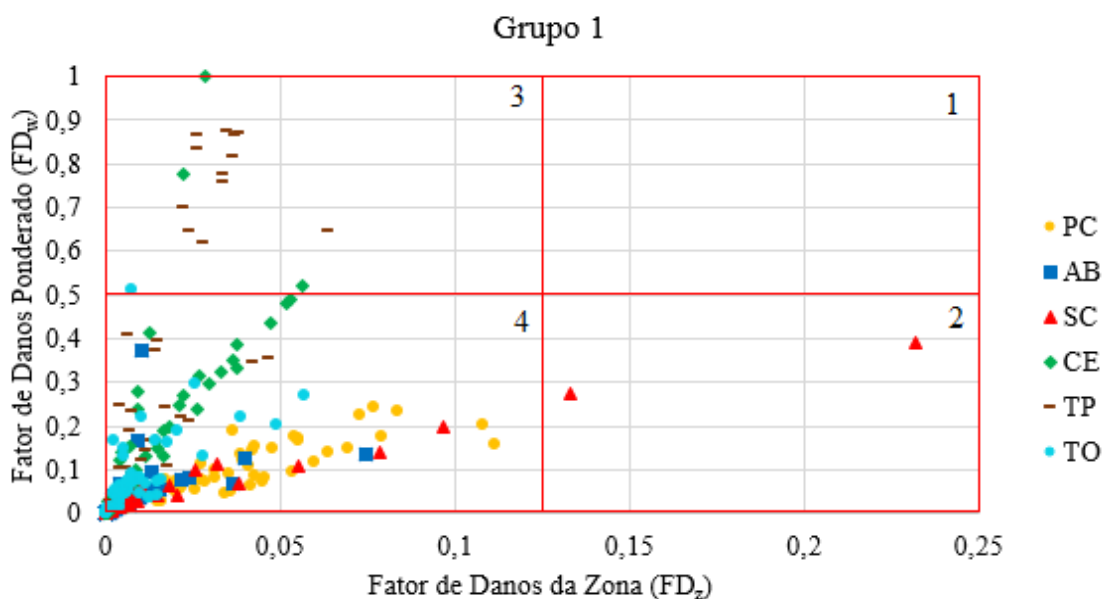


Figura 4.23 – Avaliação da Intensidade *versus* Frequência – Grupo 1

Na Figura 4.23 nota-se que a maior parte das amostras está localizada no quadrante 4, o que quer dizer que a intensidade e a frequência de ocorrência da degradação nos edifícios com idades até 14 anos é baixa. As amostras que se concentram no quadrante 3 podem ter relação com problemas construtivos, uma vez que não se espera elevados níveis de intensidade de degradação dada a idade e o grau de exposição dos edifícios pertencentes a este grupo. Neste quadrante destacam-se as zonas TP e CE, que são exatamente as zonas que mais se destacaram na análise do Índice de Gravidade Relativa (IGR), independente da classe avaliada.

No quadrante 1, onde concentram-se os casos mais graves de degradação, com alta frequência e intensidade, não são observadas amostras pertencentes ao Grupo 1, fato este que também pode ser associado à idade e ao grau de exposição dos edifícios analisados.

Avaliando somente o quarto quadrante, onde se concentram amostras com baixa intensidade e frequência de degradação, pode-se dizer que para amostras de edifícios com idades entre 5 e 14 anos parece ser mais importante a frequência de ocorrência dos danos do que a sua intensidade, uma vez que para a maior parte das zonas os valores tendem a crescer mais no eixo das frequências ( $FD_z$ ).

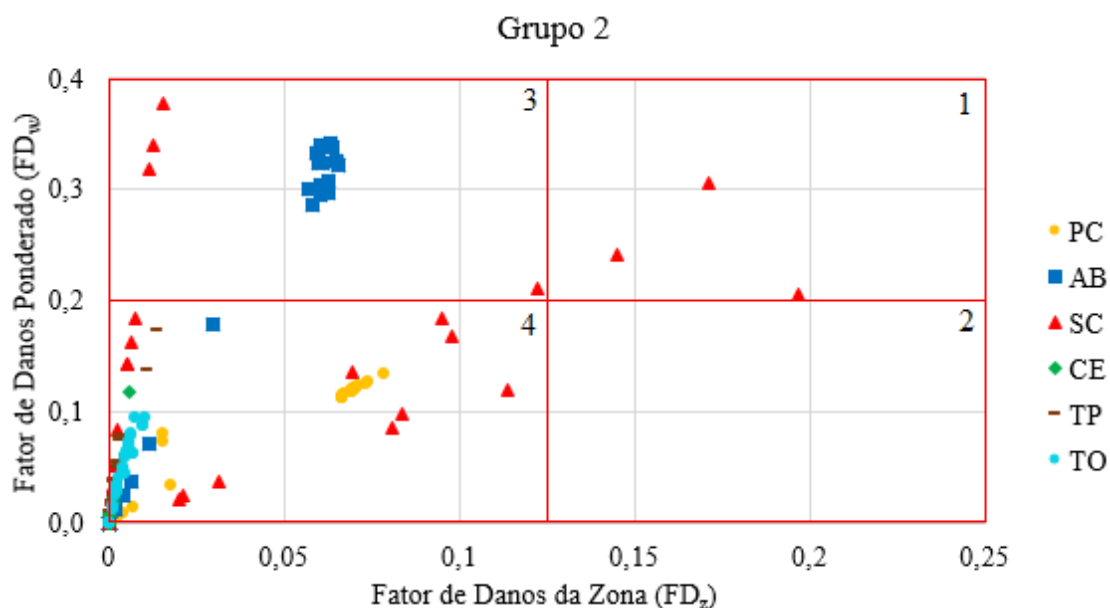


Figura 4.24 – Avaliação da Intensidade *versus* Frequência – Grupo 2

Para o Grupo 2 a Figura 4.24 indica presença de uma leve dispersão das amostras nos quadrantes estudados. O que se observa, para este caso, é uma maior concentração de amostras no quarto quadrante, com intensidade e frequência de ocorrência baixas. Neste caso, no entanto, há um considerável aumento da intensidade de degradação ( $FD_w$ ) mesmo para valores de frequência bastante próximos. Este é um indicativo de que, neste grupo, a intensidade de degradação ( $FD_w$ ) parece ser mais importante na degradação do que a frequência de ocorrência ( $FD_z$ ). Conclusão esta que não pode ser determinada diretamente na análise de IGR.

Nota-se, além disso, que as zonas de sacadas e aberturas, que se destacaram em praticamente todas as classes na análise do IGR, aparecem nos quadrantes 1 e 3, que englobam as amostras com maior intensidade de degradação. Neste caso, os resultados observados são justificados pelo avanço da idade, aumento do grau de exposição dos edifícios aos agentes de degradação e as próprias condições das amostras de fachada pertencentes ao Grupo 2.

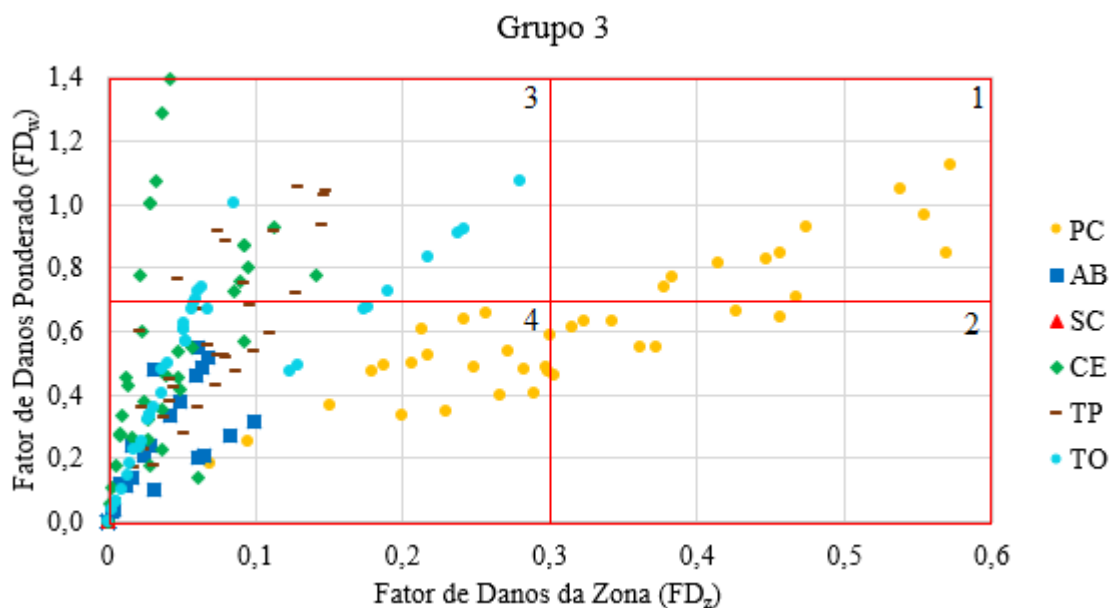


Figura 4.25 – Avaliação da Intensidade *versus* Frequência – Grupo 3

Com relação ao Grupo 3, a Figura 4.25 mostra uma considerável distribuição das amostras pelos quadrantes avaliados, sendo identificada a presença de amostras em todos eles. Este resultado, em especial, tem relação direta com o avanço da degradação e a sobreposição dos efeitos das variáveis estudadas, de modo que a ocorrência e a intensidade de degradação atingem valores com ordem de grandeza superior aos demais grupos estudados.

No quadrante 1, concentram-se amostras de paredes contínuas (PC) com alta intensidade e frequência, o que vai de encontro com os resultados do IGR, onde, considerando o somatório de todas as classes, a zona PC se mostra mais grave em termos de degradação. Esta observação também pode ser estendida ao quadrante 2.

Com relação aos quadrantes 3 e 4, observa-se um espalhamento da nuvem de pontos de todas as zonas tanto para a intensidade quanto para a frequência de ocorrência dos danos, dificultando a distinção de qual dos dois fatores é mais relevante para a avaliação da gravidade da degradação. A zona TO, por exemplo, apresenta conjuntos de amostras com duas tendências diferentes. Desta maneira, passa a ser mais representativo da realidade a análise conjunta dos dois fatores, conforme é feito no Índice de Gravidade Relativa (IGR).

#### 4.4.3 Síntese e discussão dos resultados de gravidade da degradação

O resumo dos resultados do indicador de degradação IGR referentes à avaliação da degradação nas faixas de idade dos edifícios pode ser visto na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 - Resumo dos resultados de IGR nos grupos de idade

Variável		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Zona	+	CE	AB	PC
	↓	TP	SC	TP
	-	PC	PC	CE

Nota-se na Tabela 4.18 que as zonas mais graves em termos de IGR são diferentes para os grupos de idade avaliados. Entretanto, nota-se que, independente do grupo, PC é uma das três zonas mais graves para todas as idades. As zonas CE e TP também aparecem duas vezes entre as zonas mais graves.

No Grupo 1, as mesmas zonas que despontam com maiores valores de  $FD_w$  (TP, CE e PC) na Tabela 4.13, aparecem como as mais gravemente afetadas (Tabela 4.18), entretanto, em ordem diferente (CE, TP e PC). A probabilidade de ocorrência (Tabela 4.5), no entanto, indica as zonas PC, AB e TP, nesta ordem, como as zonas de maior probabilidade de ocorrência da degradação. Esta observação mostra que a ocorrência é o fator preponderante para a determinação da ordem de gravidade relativa das zonas, uma vez que, mesmo apresentando o sequenciamento das zonas diferente dos demais índices, é capaz de alterar o sequenciamento das zonas de  $FD_w$  para o IGR.

Para o Grupo 2, a probabilidade de ocorrência (Tabela 4.5) indica as zonas PC, AB e SC como mais propensas a degradação e as zonas AB, SC e PC como as mais intensamente afetadas por ela (Tabela 4.13). O IGR (Tabela 4.18) indica que as zonas com maior gravidade relativa são AB, SC e PC, seguindo a mesma ordem do Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ). Para os edifícios pertencentes a este grupo nota-se que os dois fatores, embora em ordens diferentes, indicam as mesmas zonas como as de maior gravidade relativa.

Os resultados obtidos para o Grupo 2 considerando cada uma das classes de IGR não permitem concluir, de maneira genérica, qual dos fatores (ocorrência ou intensidade) é mais determinante para a gravidade. Entretanto, considerando apenas as três principais zonas e também a avaliação por quadrantes (Figura 4.24), percebe-se que, nestas condições, a intensidade da degradação ( $FD_w$ ) parece ser mais preponderante que a frequência de

ocorrência, uma vez que o ordenamento das zonas no IGR é igual, a dispersão dos pontos cresce no eixo das frequências.

Para os edifícios com maiores idades (Grupo 3), as zonas com maior probabilidade de ocorrência da degradação (Tabela 4.5) são PC, TP e TO, as mais intensamente degradadas (Tabela 4.13) são PC, TP e CE e as zonas de maior gravidade relativa (Tabela 4.18) são PC, TP e CE. Neste caso, o que se observa é que as zonas PC e TP se repetem, inclusive nesta ordem, em todos os fatores de estudo.

Para as condições de análise do Grupo 3, e considerando apenas as três zonas mais críticas e a análise por quadrantes, estes resultados são um indicativo de que, para edifícios mais antigos, tanto a intensidade de degradação quanto ocorrência são determinantes para a determinação da gravidade relativa das zonas, uma vez que ambos os fatores acontecem em maiores escalas.

Considerando o Índice de Gravidade Relativa e a relação Fator de Danos Ponderado *versus* Fator de Danos da Zona, conclui-se que a gravidade associada à zona não depende exclusivamente de um ou outro fator, mas sim das proporções de ambos, ao mesmo tempo, de modo que a sua resposta varia para cada combinação dos fatores, principalmente quando se leva em consideração o avanço da idade.

Sobre este aspecto, pode-se comentar que os edifícios mais jovens, que ainda não passaram por processos intensos de degradação natural e foram pouco expostos ao ambiente, tendem a apresentar menores ocorrências de defeitos generalizados, desta forma a intensidade da degradação acaba sendo menos grave do que a frequência de ocorrência dos danos pontuais.

Com o avanço da idade, a tendência é que devido ao tempo de exposição da edificação aos agentes de degradação, os danos pontuais se expandam, tornando-se danos generalizados e de maior intensidade, sendo neste caso, o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) uma ferramenta eficiente para apresentar respostas associadas à gravidade relativa das zonas de fachada.

Nos edifícios com idades mais avançadas, onde a degradação tende a ser muito intensa e a distribuição dos danos contemple todo o plano da fachada, a presença de defeitos pontuais e generalizados é bastante elevada, dificultando o estabelecimento de um fator – intensidade ( $FD_w$ ) ou frequência – mais determinante para a gravidade, sendo necessário avaliar as duas condições conjuntamente por meio do IGR.

Além disso, com relação à presença de defeitos pontuais e generalizados pode-se afirmar que os defeitos pontuais, ou seja, aqueles que têm pequenas áreas de dano distribuídas ao longo da

fachada representam maior gravidade, uma vez que acontecem mais. Enquanto que os defeitos generalizados, embora tenham grandes áreas de dano, ocorrem com menor frequência e, principalmente, nos edifícios com idades mais avançadas, mostrando-se, em geral, menos graves. Esta análise, entretanto, deve ser cautelosa, uma vez que o fato de áreas generalizadas de defeitos serem menos frequentes não indica a ausência de problemas.

Desta forma, nota-se a importância de avaliar a degradação das fachadas em função de fatores diferentes, para que não sejam feitas inferências incorretas a respeito da gravidade dos defeitos e da degradação das zonas que compõem a fachada.

## 4.5 Curvas e Modelos de Degradação

### 4.5.1 Curva de degradação

Os resultados associados ao Fator Geral de Danos (FGD) das amostras estudadas nessa pesquisa estão apresentados na Figura 4.26 para cada orientação, e Figura 4.27, para cada tipo de elemento construtivo.

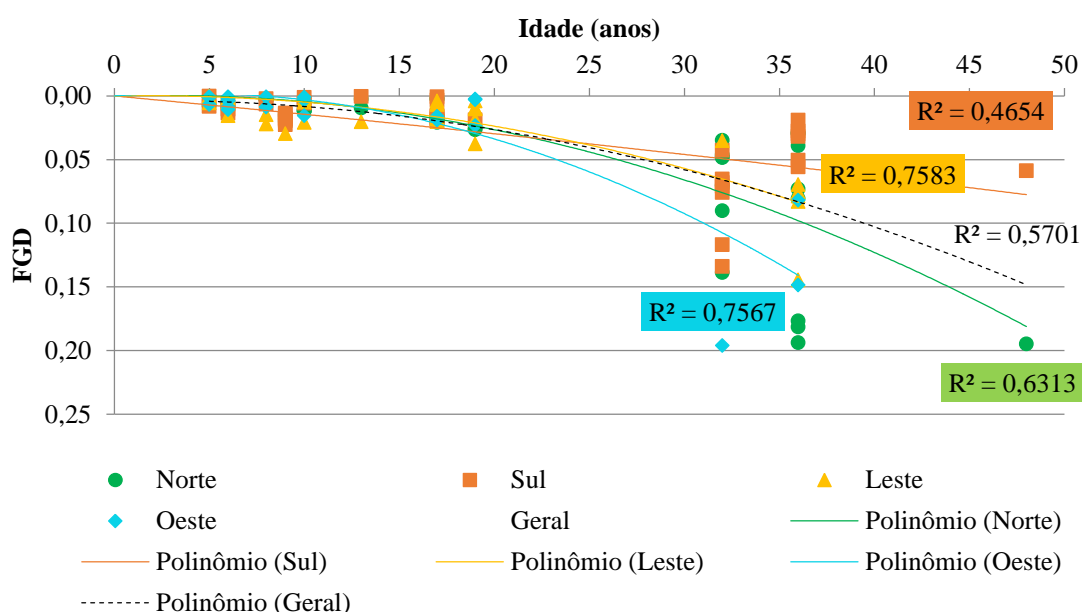


Figura 4.26 – Curva de degradação para as diferentes orientações (FGD x Idade)

Avaliando a Figura 4.26 nota-se que as amostras de fachadas apresentam comportamentos consideravelmente distintos conforme o avanço da idade, constatação esta que também é observada nas análises em termos das diferentes variáveis dependentes estudadas.

Observa-se no gráfico que as amostras com idade inferior a 20 anos apresentam valores de FGD inferiores a 0,05, enquanto amostras com idade superior a 30 anos têm níveis de degradação que atingem até 0,20, o que corresponde à cerca de quatro vezes mais degradação.

Sabendo que o FGD, por meio da consideração dos níveis de condição das anomalias, é capaz de avaliar a gravidade da degradação, podem ser tiradas algumas conclusões a respeito das orientações. Para a os edifícios com idade até 15 anos, a orientação Leste desponta como mais crítica, para edifícios entre 15 e 24 anos as orientações Sul, Oeste e Leste despontam e para os edifícios com mais de 25 anos, as orientações Oeste e Norte mostram-se mais críticas. Estes resultados vão de encontro com os resultados de  $FD_w$  anteriormente apresentados, e também convergem com os resultados de Antunes (2010), Silva (2014) e Souza (2016).

Com relação ao coeficiente de determinação ( $R^2$ ) o que se pode afirmar é que há um melhoramento no ajuste dos dados à curva em relação ao trabalho de Souza (2016), o que indica que o procedimento de tratamento dos dados foi eficiente.

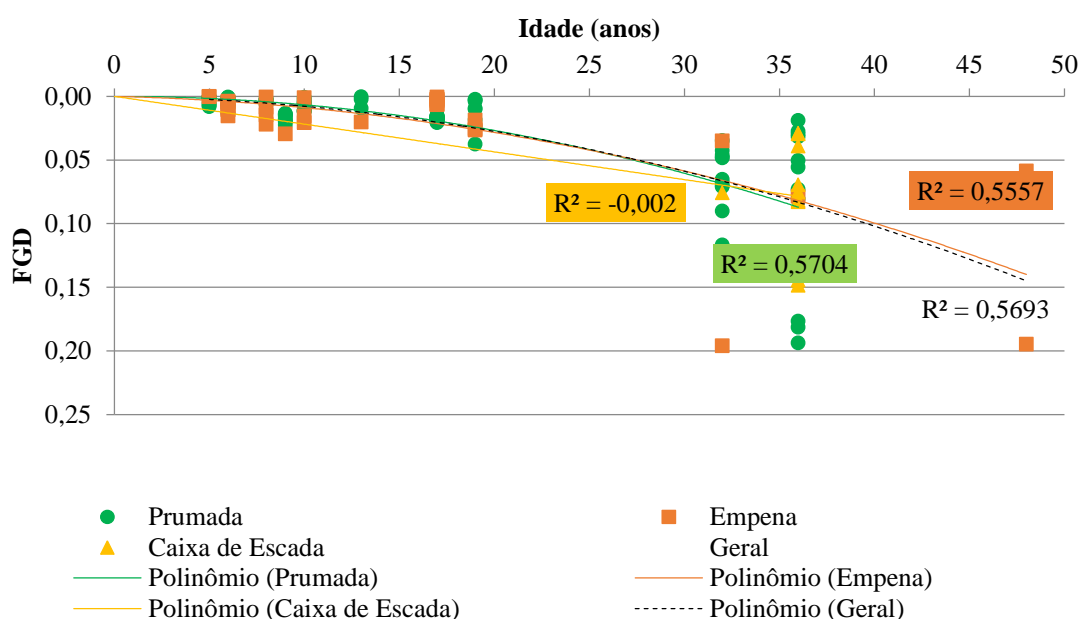


Figura 4.27 – Curva de degradação para os diferentes elementos construtivos (FGD x Idade)

Assim como na análise das orientações nota-se na Figura 4.27 que os comportamentos apresentados pelas amostras de fachadas são distintos conforme a idade da edificação aumenta.

Para as amostras de fachada com idade inferior a 15 anos o elemento construtivo do tipo empena mostra-se mais crítico, enquanto para edifícios com idade entre 15 e 24 anos se

destacam as prumadas. Este comportamento varia nas amostras com idade superior a 25 anos, de modo que prumada e empena apresentam valores similares.

As caixas de escada, cujas amostras apresentam idades superiores a 25 anos, mostram-se como os elementos com menor índice de degradação global. Devido às condições da amostra, entretanto, não se pode estabelecer uma análise conclusiva a respeito da evolução da sua degradação.

O ajuste polinomial para as empenas e prumadas se aproximou consideravelmente do polinômio geral, o que pode indicar que o comportamento da degradação destes elementos construtivos é representativo do comportamento geral da degradação.

Novamente pode-se afirmar que o procedimento de tratamento dos dados foi efetivo, uma vez que se nota um aumento do valor do coeficiente de determinação em relação ao trabalho de Souza (2016).

#### **4.5.2 Modelos de degradação**

A quantificação da degradação total das amostras de fachada no Método de Mensuração de Degradação (MMD) pode ser feita por meio do Fator Geral de Danos (FGD), que é um indicativo global da degradação das amostras ponderado pelos pesos relativos aos tipos de anomalias, ou do Fator de Danos (FD), que é um indicador da degradação das amostras relativo ao somatório da degradação em cada uma das zonas componentes da fachada.

Para avaliar a importância relativa das zonas componentes da fachada na resposta total da degradação das amostras, são propostos modelos de degradação, elaborados por meio de uma análise multivariada. A análise de regressão múltipla linear é empregada para prever o comportamento de uma variável dependente em função de variáveis independentes.

Os modelos propostos tomam como variáveis independentes os resultados do Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ), da probabilidade de ocorrência ( $P_f$ ) e do Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) nas zonas PC, AB, SC, CE, TP e TO, e como variável dependente a ser explicada, o Fator de Danos (FD). Esta avaliação também pode ser realizada utilizando o Fator Geral de Danos (FGD), entretanto, opta-se pela utilização do FD, uma vez que este indicador de degradação tem relação direta com as zonas componentes da fachada.

A relação entre as variáveis dependente e independente pode ser avaliada com base em três coeficientes. O primeiro é o coeficiente de correlação (R), que é um método estatístico para se



medir as relações entre variáveis e o que elas representam. O segundo é o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que é uma das formas de avaliar a qualidade do ajuste do modelo. O terceiro é o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  ajustado), que é uma modificação de  $R^2$  de modo a levar em conta o número de variáveis e o tamanho da amostra utilizada na modelação.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) fornece uma medida cômoda da eficácia do ajuste do modelo sendo, por isso, o parâmetro mais utilizado. Este coeficiente varia entre 0 e 1, e indica quanto o modelo é capaz de explicar os dados coletados. Quanto maior o  $R^2$ , mais explicativo é o modelo e melhor ele se ajusta à amostra.

Os modelos de regressão múltipla linear para o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ), a probabilidade de ocorrência ( $P_f$ ) e o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) são apresentados da Tabela 4.19 a Tabela 4.25.

Tabela 4.19 - Modelos de degradação para o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ )

<b>Toda a Amostra</b>	$FD = 1FD_{z_{PC}} + 1FD_{z_{CE}} + 1FD_{z_{TO}} + 1FD_{z_{SC}} + 1FD_{z_{AB}} + 1FD_{z_{TP}} - 1,288 \cdot 10^{-11}$
<b>Grupo 1</b>	$FD = 1FD_{z_{TP}} + 1FD_{z_{SC}} + 1FD_{z_{PC}} + 1FD_{z_{CE}} + 1FD_{z_{AB}} + 1FD_{z_{TO}} - 4,933 \cdot 10^{-11}$
<b>Grupo 2</b>	$FD = 1FD_{z_{PC}} + 1FD_{z_{SC}} + 1FD_{z_{AB}} + 1FD_{z_{TP}} + 1FD_{z_{TO}} + 1FD_{z_{CE}} - 9,201 \cdot 10^{-11}$
<b>Grupo 3</b>	$FD = 1FD_{z_{PC}} + 1FD_{z_{CE}} + 1FD_{z_{TO}} + 1FD_{z_{TP}} + 1FD_{z_{AB}} - 7,029 \cdot 10^{-10}$

A Tabela 4.19 mostra uma relação entre o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ) e o Fator de Danos (FD). Observa-se neste caso que, embora a ordem das zonas que melhor respondem o fenômeno se altere nas equações, todos os coeficientes são iguais a 1. A presença e a ordem de grandeza irrelevante ( $10^{-11}$  e  $10^{-10}$ ) das constantes nos modelos permitem afirmar que as variáveis independentes são capazes de explicar a totalidade da variabilidade do Fator de Danos (FD), quando se avalia o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ). Além disso, a presença das constantes mostra que os quatro modelos são capazes de atender a qualquer amostra de estudo, uma vez que na análise da degradação não devem ser consideradas amostras com Fator de Danos (FD) nulo.

Para o modelo que considera todas as amostras, nota-se que as zonas que melhor representam o fenômeno são PC, CE e TO. No Grupo 1 destacam-se as zonas TP, SC e PC, no Grupo 2 as zonas PC, SC e AB e no Grupo 3, as zonas PC, CE e TO.

Para a variável Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ), os resultados sugerem que o ordenamento das zonas tem relação com a extensão da área das zonas em cada um dos grupos avaliados, uma vez que a zona PC, que corresponde à maior área do conjunto, aparece em todos os grupos, e a zona SC, que é bastante presente nos grupos 1 e 2, também aparece nos respectivos modelos. Além disso, nota-se que o ordenamento das três principais zonas no Grupo 3 (PC, CE, TO) é igual ao do modelo que considera todas as amostras, o que permite levantar a hipótese de que o comportamento de degradação dos edifícios com idades mais avançadas tem maior influência no valor de FD.

Um sumário dos modelos de regressão múltipla linear (RML) para o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) é apresentado na Tabela 4.20.

Tabela 4.20 - Sumário dos modelos de RML para o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ )

<b>Toda a Amostra</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,944 <sup>a</sup>	0,891	0,890
2	0,968 <sup>b</sup>	0,937	0,936
3	0,979 <sup>c</sup>	0,958	0,957
4	0,988 <sup>d</sup>	0,977	0,976
5	0,996 <sup>e</sup>	0,992	0,991
6	1,000 <sup>f</sup>	1,000	1,000

a. Preditores: (Constante), PC  
b. Preditores: (Constante), PC, CE  
c. Preditores: (Constante), PC, CE, TO  
d. Preditores: (Constante), PC, CE, TO, SC  
e. Preditores: (Constante), PC, CE, TO, SC, AB  
f. Preditores: (Constante), PC, CE, TO, SC, AB, TP  
g. Variável Dependente: FD

<b>Grupo 1</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,696a	0,484	0,476
2	0,913b	0,833	0,828
3	0,945c	0,892	0,887
4	0,966d	0,933	0,928
5	0,984e	0,968	0,966
6	1,000f	1,000	1,000

- a. Preditores: (Constante), TP
- b. Preditores: (Constante), TP, SC
- c. Preditores: (Constante), TP, SC, PC
- d. Preditores: (Constante), TP, SC, PC, CE
- e. Preditores: (Constante), TP, SC, PC, CE, AB
- f. Preditores: (Constante), TP, SC, PC, CE, AB, TO
- g. Variável Dependente: FD

<b>Grupo 2</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,656a	0,430	0,415
2	0,988b	0,977	0,976
3	0,997c	0,993	0,993
4	0,999d	0,998	0,998
5	1,000e	1,000	1,000
6	1,000f	1,000	1,000

- a. Preditores: (Constante), PC
- b. Preditores: (Constante), PC, SC
- c. Preditores: (Constante), PC, SC, AB
- d. Preditores: (Constante), PC, SC, AB, TP
- e. Preditores: (Constante), PC, SC, AB, TP, TO
- f. Preditores: (Constante), PC, SC, AB, TP, TO, CE
- g. Variável Dependente: FD

<b>Grupo 3</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,786a	0,618	0,608
2	0,924b	0,853	0,845
3	0,967c	0,936	0,930
4	0,993d	0,987	0,985
5	1,000e	1,000	1,000

- a. Preditores: (Constante), PC
- b. Preditores: (Constante), PC, CE
- c. Preditores: (Constante), PC, CE, TO
- d. Preditores: (Constante), PC, CE, TO, TP
- e. Preditores: (Constante), PC, CE, TO, TP, AB
- f. Variável Dependente: FD

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) apresentados na Tabela 4.20, para todos os modelos, são iguais a 1. Neste caso, a resposta está associada ao fato de que o valor de FD corresponde ao somatório dos danos nas zonas ( $FD_z$ ), de modo que todas as zonas entram no modelo e o ajuste torna-se perfeito ( $R^2 = 1$ ). Estas modelações são feitas apenas para efeitos de analisar qual o percentual de capacidade de explicação da variabilidade do Fator de Danos (FD)

associado a cada zona e se ele se altera nas diferentes idades. Os resultados são apresentados na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 - Importância relativa de cada zona (%)

Zona	Toda a Amostra	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Paredes Contínuas (PC)</b>	89,12%	5,89%	43,00%	61,80%
<b>Aberturas (AB)</b>	1,47%	3,56%	1,60%	1,30%
<b>Sacadas (SC)</b>	1,92%	34,94%	54,70%	*
<b>Cantos e Extremidades (CE)</b>	4,54%	4,07%	0,00%	23,50%
<b>Transição de Pavimentos (TP)</b>	0,84%	48,38%	0,50%	8,30%
<b>Topo (TO)</b>	2,11%	3,16%	0,20%	5,10%
<b>Soma</b>	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

(\*) Zona não faz parte do modelo

Para o modelo de degradação que considera toda a amostra, a Tabela 4.21 mostra que a zona PC (89,12%) apresenta a maior importância relativa na explicação de FD. No modelo do Grupo 1, destacam-se as zonas TP e SC que, juntas, explicam 83,32% da variação de FD. No caso do Grupo 2, os maiores percentuais são observados nas zonas SC (54,70%) e PC (43,00%). Para o Grupo 3, a maior capacidade de explicação da variabilidade do Fator de Danos (FD) fica por conta, principalmente, da zona PC, que sozinha, explica 61,80% da variação de FD.

Neste caso, nota-se que a importância relativa das zonas que melhor explicam a variabilidade do Fator de Danos (FD) se altera em cada um dos modelos. Os modelos segmentados por idade captam tendências específicas associadas às zonas, que provavelmente dizem respeito às condições das amostras nos grupos e até mesmo à extensão das áreas das zonas em cada grupo. Estas ponderações não podem ser isoladamente avaliadas no modelo que considera toda a amostra, uma vez que as tendências associadas aos grupos passam influenciar conjuntamente o modelo. Entretanto, observa-se que mesmo que nos modelos do Grupo 1 e Grupo 2, a zona SC tem alta importância relativa, as duas zonas mais explicativas no modelo que considera toda a amostra, PC e CE, são as mesmas do modelo do Grupo 3. Este fato ajuda a sustentar a hipótese de que os edifícios com idade mais avançada tendem a apresentar maior influência na resposta da degradação total dos edifícios.

Tabela 4.22 - Modelos de degradação para a probabilidade de ocorrência ( $P_f$ )

<b>Toda a Amostra</b>	$FD = 25,403PO_{PC} - 246,240PO_{TO} + 0,176$
<b>Grupo 1</b>	$FD = 33,255PO_{TP} + 32,010PO_{SC} + 24,608PO_{CE} + 0,030$
<b>Grupo 2</b>	$FD = 41,930PO_{SC} + 15,708PO_{PC} + 0,022$
<b>Grupo 3</b>	$FD = 31,968PO_{TP} + 0,515$

A Tabela 4.22 mostra a relação da probabilidade de ocorrência ( $P_f$ ) dos danos nas zonas com o Fator de Danos (FD). Para estas condições, considerando toda a amostra, as zonas que melhor respondem a variável dependente são PC e TO. No Grupo 1, destacam-se as zonas TP, SC e CE, para o Grupo 2 as zonas SC e PC, e no Grupo 3 apenas a zona TP.

O sumário dos modelos de regressão múltipla linear (RML) é apresentado na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 - Sumário dos modelos de RML para a probabilidade de ocorrência ( $P_f$ )

<b>Toda a Amostra</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,459a	0,211	0,206
2	0,581b	0,338	0,329
a. Preditores: (Constante), PC			
b. Preditores: (Constante), PC, TO			
c. Variável Dependente: FD			
<b>Grupo 1</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,582a	0,339	0,329
2	0,813b	0,661	0,650
3	0,861c	0,742	0,730
a. Preditores: (Constante), TP			
b. Preditores: (Constante), TP, SC			
c. Preditores: (Constante), TP, SC, CE			
d. Variável Dependente: FD			
<b>Grupo 2</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,658a	0,433	0,418
2	0,925b	0,855	0,847
a. Preditores: (Constante), SC			
b. Preditores: (Constante), SC, PC			

c. Variável Dependente: FD

<b>Grupo 3</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,382a	0,146	0,123

a. Preditores: (Constante), TP

b. Variável Dependente: FD

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) obtido para o modelo que considera toda a amostra é relativamente baixo (0,338), indicando que a probabilidade de ocorrência das anomalias nas zonas é responsável por explicar, aproximadamente, apenas 30,00% da variabilidade do Fator de Danos (FD). O modelo de degradação para as amostras do Grupo 1 apresenta um  $R^2$  igual a 0,742 e para as amostras do Grupo 2 um  $R^2 = 0,855$ , sendo considerados, por isso, modelos com boa capacidade de explicação da variável resposta. O modelo de degradação para as amostras do Grupo 3, por sua vez, apresenta um ajuste baixo à amostra, com  $R^2 = 0,146$ , explicando, portanto, menos de 15% da variação de FD.

Uma vez que as amostras dos grupos 1, 2 e 3 compõem a amostra total e considerando os resultados de  $R^2$  dos seus respectivos modelos, é provável que as amostras de fachada que fazem parte do Grupo 3 sejam as principais responsáveis pelo fato de o  $R^2$  do modelo que considera toda a amostra ser baixo. Assim como constatado na avaliação dos modelos de Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ).

A segmentação dos modelos em grupos de idade só é considerada eficiente, quando todos os modelos são capazes de se ajustar bem as respectivas amostras, explicando a variabilidade da variável dependente de todo o conjunto de dados. Neste caso, entretanto, apenas os modelos do Grupo 1 e do Grupo 2 apresentaram um ajuste linear adequado. Portanto, tomando por base o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) dos quatro modelos propostos para os resultados da probabilidade de ocorrência das anomalias nas zonas, nem o modelo único (todas as amostras), nem os modelos segmentados pela idade, são capazes de explicar de maneira eficiente a variabilidade do Fator de Danos (FD). Desta forma, pode-se afirmar que a probabilidade de ocorrência não é um bom parâmetro para explicar a distribuição dos danos nas zonas componentes da fachada.

O sumário do modelo de RML permite também avaliar quanto cada uma das variáveis explica a variabilidade do Fator de Danos (FD). Os resultados são apresentados na Tabela 4.24.

Tabela 4.24 – Importância relativa de cada zona (%)

Zona	Toda a Amostra	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Paredes Contínuas (PC)</b>	21,10%	*	42,20%	*
<b>Aberturas (AB)</b>	*	*	*	*
<b>Sacadas (SC)</b>	*	32,20%	43,30%	*
<b>Cantos e Extremidades (CE)</b>	*	8,10%	*	*
<b>Transição de Pavimentos (TP)</b>	*	33,90%	*	14,60%
<b>Topo (TO)</b>	12,70%	*	*	*
<b>Soma</b>	33,80%	74,20%	85,50%	14,60%

(\*) Zona não faz parte do modelo

De acordo com a Tabela 4.24, pode-se concluir que as zonas apresentam diferentes importâncias relativas associadas a cada modelo. No modelo que considera toda a amostra, a zona PC é capaz de explicar, sozinha, 21,10% da variabilidade do Fato de Danos (FD). No Grupo 1, esta função passa a ser das zonas TP (33,90%) e SC (32,20%) e no Grupo 2 das zonas SC (43,30%) e PC (42,20%). No Grupo 3 apenas a zona TP aparece no modelo de degradação, explicando apenas 14,60% da variabilidade de FD, apresentando, portanto, um baixo ajuste à amostra estudada. A probabilidade de ocorrência de anomalias nas zonas explica de 14,60% a 85,50% da variabilidade do Fator de Danos (FD), sendo o percentual restante condicionado por fatores extrínsecos à análise.

Tabela 4.25 - Modelos de degradação para o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ )

<b>Toda a Amostra</b>	$FD = 0,604FD_{wPC} + 0,369FD_{wSC} + 0,183FD_{wTO} + 0,076FD_{wTP} + 0,102FD_{wAB} + 0,039FD_{wCE} - 0,005$
<b>Grupo 1</b>	$FD = 0,046FD_{wTP} + 0,541FD_{wSC} + 0,415FD_{wPC} + 0,204FD_{wAB} + 0,1FD_{wTO} + 0,006$
<b>Grupo 2</b>	$FD = 0,618FD_{wPC} + 0,239FD_{wSC} + 0,043$
<b>Grupo 3</b>	$FD = 0,544FD_{wPC} + 0,203FD_{wTP} + 0,160FD_{wTO} + 0,013$

A Tabela 4.25 mostra que o modelo que considera todas as amostras do conjunto de dados tem como mais representativas do indicador de degradação as zonas PC, SC, TO e TP. Avaliando o Grupo 1, que engloba os edifícios mais jovens (5 a 14 anos), observa-se que as zonas que mais se destacam são TP, SC e PC, que também aparecem no modelo total, embora

em ordens diferentes. Para o Grupo 2, que concentra edifícios com idades entre 15 e 24 anos, nota-se que as zonas PC e SC se destacam, repetindo a ordem do modelo geral. Para os edifícios do Grupo 3, com idades superiores a 25 anos, aparecem como mais explicativas as zonas PC, TP e TO, que também aparecem no modelo com todas as amostras.

Um sumário dos modelos de regressão múltipla linear (RML) para o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) é apresentado na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 - Sumário dos modelos de RML para o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ )

<b>Toda a Amostra</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,958a	0,918	0,917
2	0,967b	0,934	0,933
3	0,973c	0,946	0,945
4	0,978d	0,956	0,954
5	0,979e	0,959	0,957
6	0,980f	0,960	0,959

- a. Preditores: (Constante), PC  
 b. Preditores: (Constante), PC, SC  
 c. Preditores: (Constante), PC, SC, TO  
 d. Preditores: (Constante), PC, SC, TO, TP  
 e. Preditores: (Constante), PC, SC, TO, TP, AB  
 f. Preditores: (Constante), PC, SC, TO, TP, AB, CE  
 g. Variável Dependente: FD

<b>Grupo 1</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,668a	0,447	0,438
2	0,863b	0,745	0,737
3	0,929c	0,864	0,857
4	0,949d	0,901	0,895
5	0,961e	0,923	0,917

- a. Preditores: (Constante), TP  
 b. Preditores: (Constante), TP, SC  
 c. Preditores: (Constante), TP, SC, PC  
 d. Preditores: (Constante), TP, SC, PC, AB  
 e. Preditores: (Constante), TP, SC, PC, AB, TO  
 f. Variável Dependente: FD

<b>Grupo 2</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,674a	0,454	0,439
2	0,820b	0,673	0,654

- a. Preditores: (Constante), PC



- b. Preditores: (Constante), PC, SC  
 c. Variável Dependente: FD

<b>Grupo 3</b>			
<b>Modelo</b>	<b>R</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> Ajustado</b>
1	0,866a	0,749	0,742
2	0,925b	0,855	0,847
3	0,952c	0,907	0,899

- a. Preditores: (Constante), PC  
 b. Preditores: (Constante), PC, TP  
 c. Preditores: (Constante), PC, TP, TO  
 d. Variável Dependente: FD

A Tabela 4.26 mostra que o coeficiente de terminação ( $R^2$ ) do Grupo 1 é igual a 0,923, do Grupo 2 é igual a 0,673 e do Grupo 3 é igual a 0,907. Nota-se que, para o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ), os modelos segmentados por grupos de idade apresentam coeficientes de determinação superiores a 0,600, indicando que as variáveis independentes são capazes de explicar mais de 60,00% da variabilidade do Fator de Danos (FD) em todos eles.

Sendo o  $R^2$  dos modelos dos três grupos consideravelmente elevados, e levando em consideração que as amostras que pertencem a estes grupos compõem o conjunto de amostras total, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do modelo que considera todas as amostras (0,960) também é elevado e maior que os demais. Para o  $FD_w$ , portanto, o modelo com todas as amostras tem maior capacidade de explicar a variabilidade do FD do que os modelos segmentados por idade.

Utilizando os resultados do sumário dos modelos de RML, é calculado o percentual associado à capacidade de explicação das variáveis independentes para a variabilidade do Fator de Danos (FD). Os resultados podem ser vistos na Tabela 4.27.

Tabela 4.27 - Importância relativa de cada zona (%)

<b>Zona</b>	<b>Toda a Amostra</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>
<b>Paredes Contínuas (PC)</b>	91,80%	11,90%	45,40%	74,90%
<b>Aberturas (AB)</b>	0,30%	3,70%	*	*
<b>Sacadas (SC)</b>	1,60%	29,80%	21,90%	*
<b>Cantos e Extremidades (CE)</b>	0,10%	*	*	*
<b>Transição de Pavimentos (TP)</b>	1,00%	44,70%	*	10,60%
<b>Topo (TO)</b>	1,20%	2,20%	*	5,20%
<b>Soma</b>	96,00%	92,30%	67,30%	90,70%

(\*) Zona não faz parte do modelo

Com base na Tabela 4.27 pode-se assegurar que, assim como na análise dos modelos para a probabilidade de ocorrência e para o Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ), as zonas apresentam diferentes importâncias relativas associadas a cada modelo. Para o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ), uma maior quantidade de zonas passa a explicar a variabilidade do Fator de Danos (FD), atingindo até 96,00% de capacidade de representação. Mais uma vez, o percentual restante dos modelos é condicionado por fatores extrínsecos à análise.

A zona PC é a que mais explica a variabilidade do FD nos modelos que consideram toda a amostra (91,80%), apenas o Grupo 2 (45,50%) e apenas o Grupo 3 (74,90%). As zonas TP (44,70%) e SC (29,80%) se destacam no Grupo 1.

No contexto dos modelos de degradação, em termos do Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ), observa-se concluir que as zonas que melhor explicam a distribuição dos danos nas amostras de fachada se modificam com a evolução da idade nos grupos. Fato este que, provavelmente, tem relação com a condição das amostras nos grupos e com a sobreposição dos efeitos das diferentes variáveis, ao longo do tempo, nas fachadas, que tornam a degradação mais intensa. Estes modelos apresentam melhor ajuste às amostras de estudo quando comparados aos resultados dos modelos de probabilidade de ocorrência, tornando possível afirmar que o Fator de Danos (FD) pode ser explicado pelo Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ).

#### **4.5.3 Síntese e discussão dos resultados das outras avaliações**

Com relação à avaliação FGD *versus* Tempo, as curvas de degradação mostram que as orientações mais críticas tendem a variar com a evolução da idade, sendo Norte e Oeste aquelas que apresentam os maiores valores de FGD, principalmente para os edifícios com idade superior a 25 anos. Nota-se também uma variação do tipo de elemento construtivo mais crítico com o avanço da idade dos edifícios. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ), porém, indica que o comportamento da degradação nos elementos construtivos dos tipos prumada e empena são os mais representativos do comportamento geral da degradação.

Os doze modelos de regressão múltipla linear (RML) apresentados mostram que as zonas que melhor explicam a variabilidade do Fato de Danos (FD) variam para os resultados de probabilidade de ocorrência ( $P_f$ ), do Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) e do Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ). As ordens de importância relativa das zonas na explicação dos fenômenos se modificam com a evolução idade e, nem sempre as zonas que aparecem nos modelos dos grupos aparecem no modelo de degradação que leva em consideração toda a amostra. O

coeficiente de determinação ( $R^2$ ) permite afirmar que o indicador de degradação Fator de Danos (FD) pode ser mais bem explicado pelo Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) do que pela Probabilidade de Ocorrência ( $P_f$ ), principalmente com o emprego do modelo que considera toda a amostra.

Em busca de discutir e estabelecer hipóteses capazes de indicar as prováveis causas para a maior ou menor importância relativa das zonas que aparecem nos modelos de degradação mais explicativos ( $FD_w$ ), na explicação do Fator de Danos (FD) é apresentado na Tabela 4.28 um resumo das três zonas que mais se destacaram nos modelos de degradação para o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) e na Análise 3 (Índice de Gravidade Relativa - IGR).

A opção por utilizar o IGR como parâmetro de comparação da representatividade das zonas diz respeito ao fato de este índice ser capaz de ponderar, ao mesmo tempo, a intensidade ( $FD_w$ ) e a frequência de ocorrência dos danos nas zonas, sendo, portanto, um índice mais global associado as respostas das diferentes análises efetuadas nesta pesquisa.

Tabela 4.28 - Resumo das zonas mais representativas

Análise		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
<b>Modelos de Degradação para o Fator de Danos Ponderado (<math>FD_w</math>)</b>	+	TP	PC	PC
	↓	SC	SC	TP
	-	PC	*	TO
<b>Análise 3 – Índice de Gravidade Relativa (IGR)</b>	+	CE	AB	PC
	↓	TP	SC	TP
	-	PC	PC	CE

Nos modelos que levam em consideração o Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ), o Grupo 1 tem como mais explicativas da variabilidade do Fator de Danos (FD) as zonas TP, SC e PC. As zonas PC e TP também aparecem nos resultados do IGR, indicando que estas zonas são realmente importantes na explicação do fenômeno de degradação das fachadas. A zona SC, por sua vez, aparece entre as zonas com maior importância relativa na explicação do FD no modelo, embora não seja, necessariamente, uma das zonas mais representativas na análise da gravidade da degradação.

Para o Grupo 2, destacam-se no modelo de degradação as zonas PC e SC, que também aparecem entre as mais representativas na análise de gravidade. Neste caso, a ausência da zona AB, que tem o maior valor de IGR no Grupo 2, pode ser a principal causa do coeficiente de determinação do modelo (0,673) não ser tão elevado.

No Grupo 3, o modelo apresenta as zonas PC, TP e TO como as mais explicativas do Fator de Danos (FD). Para este grupo as zonas PC e TP também aparecem entre as mais representativas com relação ao IGR, inclusive na mesma ordem. A zona CE, que aparece na avaliação da gravidade, não aparece no modelo tendo sido substituída pela zona TO. Neste caso, entretanto, a alteração entre as duas zonas não parece ter afetado significativamente a eficiência do modelo, já que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é igual a 0,907.

Algumas hipóteses associadas à presença ou ausência das zonas nos modelos de degradação que consideram o Fator de Danos Ponderado ( $FD_z$ ) são levantadas e discutidas a seguir.

A primeira análise diz respeito à zona PC, que aparece nos três modelos de degradação apresentados. O que se pode comentar sobre esta zona é que os planos contínuos de revestimentos frequentemente correspondem às maiores extensões de área de uma fachada. Por expor uma maior área aos agentes de degradação, a zona PC tende a apresentar maior probabilidade de ocorrência das diferentes anomalias, como já constatado na Análise 1 – Probabilidade de Ocorrência (Tabela 4.5). Desta forma, independente do grupo, esta é uma zona considerada crítica, o que pode justificar o seu aparecimento em todos os modelos de degradação.

Devido à maior extensão da zona PC, há também uma maior área de revestimento cerâmico associada à zona. Neste caso, a presença do descolamento cerâmico (DC) é bastante frequente e pode estar relacionada, não apenas com a movimentação das placas cerâmicas oriunda da dilatação térmica e da expansão por umidade, mas também com as falhas projeto e execução. As análises de probabilidade de ocorrência do descolamento cerâmico nos grupos (Figura 4.6) e a avaliação por quadrantes (Figura 4.23) mostram que no conjunto de amostras estudadas, existem indícios de que problemas de execução como falhas no assentamento das placas cerâmicas, no preenchimento incompleto ou incorreto do tardo das placas, no controle do tempo em aberto da argamassa colante, e na especificação dos materiais podem ter ocorrido. Nos grupos 2 e 3 a zona PC aparece como a mais explicativa do Fator de Danos (FD) nos modelos, o que pode estar relacionado com a atuação de todos os problemas citados, ao mesmo tempo na zona, e com a evolução de FI e FR para o DC, aumentando sua importância relativa na explicação da distribuição dos danos com a evolução da idade da edificação.

A zona de transição de pavimento (TP) está associada às movimentações estruturais e, geralmente, apresenta interface crítica entre estrutura e alvenaria. Estruturas de concreto

necessitam de um espaçamento, chamado de junta de dilatação, que permite que a estrutura suporte as variações dimensionais. Neste sentido, a ocorrência das anomalias depende intimamente da disposição estrutural do edifício, de modo que os esforços associados à deformação e fluência do concreto nesta zona podem resultar no aparecimento de FI e FR.

Devido às idades das amostras que pertencem ao Grupo 1 (5 a 14 anos), hipóteses associadas ao fato de a zona TP ser aquela que melhor explica a variação do Fator de Danos (FD) no modelo dizem respeito à possibilidade da existência de erros de projeto, como a não especificação de juntas de dilatação e/ou especificação incorreta da resina ou rejunte, ou erros no processo construtivo, como a falha na execução das juntas e/ou aplicação da resina. No Grupo 3 (25 a 48 anos), a importância da zona TP pode ter relação com o acúmulo dos problemas nas juntas ao longo dos anos e também com a ausência ou inadequação dos procedimentos de manutenção.

Com relação à zona SC é necessário destacar, primeiramente, a particularidade de estar em balanço. Nesta situação a zona está sujeita à ocorrência de deformações nas peças de concreto em balanço devido ao carregamento da estrutura. As tensões decorrentes destas deformações geram tensões cisalhantes na alvenaria, que possibilitam o surgimento de FI, que tende a se tornar mais grave ao longo do tempo. As condições de exposição da zona SC também são mais críticas devido ao fato de ela se sobressair ao alinhamento da parede da fachada, permitindo ações mais intensas da chuva dirigida e da radiação solar que nas demais zonas, tornando frequente a ocorrência de anomalias como DC, FI e EF.

Os problemas associados às ações estruturais na zona SC tendem a ser mais frequentes ao passo que a idade da edificação aumenta, desta forma, considerando que a idade dos edifícios pertencentes ao Grupo 1 é inferior a 14 anos, é mais provável que a resposta da degradação na zona SC no modelo tenha relação com as solicitações de origem térmica e com deficiências nas ligações entre a viga do balanço e a alvenaria, que constituem uma zona de fragilidade.

A presença da zona SC no modelo do Grupo 2, pode ter relação, principalmente, com duas situações. A primeira diz respeito à extensão da área da zona no grupo, que é maior que as demais. A segunda diz respeito à idade das amostras de fachada, que chegam até 24 anos. Neste caso, a sobreposição dos efeitos das ações estruturais e das solicitações de origem térmica pode ter influenciado na importância relativa da zona SC na explicação do Fator de Danos (FD) neste modelo.

A zona TO possui um mecanismo bastante típico de degradação devido à sua condição de exposição às ações da natureza, como a radiação solar e a chuva dirigida. Nesta zona, a degradação tem pouca relação com as causas estruturais, uma vez que os carregamentos a ela impostos têm ordens de grandeza inferiores aos dos demais pavimentos.

Devido à absorção da radiação solar, a alteração de temperatura dos componentes de fachada e cobertura provoca dilatações térmicas da laje de cobertura, produzindo variações dimensionais nos elementos componentes do sistema, que podem ocasionar FR, DC e FI no revestimento cerâmico da zona TO. A grande exposição da zona às solicitações de origem térmica, aliada a ocorrência de fatores secundários, como por exemplo, a deficiência nas ligações entre a laje de cobertura e a alvenaria de platibanda, submete a alvenaria a um elevado estado de tensões, que pode induzir, mais uma vez, o surgimento de FI. As movimentações de origem higrotérmica também geram tensões elevadas no revestimento, levando ao aparecimento de DC.

O fato de a zona TO aparecer no modelo de degradação do Grupo 3, onde as amostras têm idades superiores a 25 anos, pode ter relação com falhas de projeto ou execução das juntas, problemas na vedação das juntas, que podem permitir o ingresso de água e contribuir para o aparecimento e a evolução de DC, e o desgaste dos materiais e componentes do sistema ao longo dos anos, devido à sua maior exposição aos agentes climáticos.

Em geral, as zonas que aparecem como mais explicativas nos modelos tem relação direta com as anomalias correntes nas zonas e com o acúmulo e a sobreposição das diferentes solicitações e falhas, de projeto ou construtivas, ao longo dos anos. As zonas TP, PC e SC aparecem em mais de um modelo e também se destacam no IGR, indicando que estas zonas podem explicar não somente a gravidade da degradação, como também a distribuição dos danos nas zonas.

#### **4.6 Considerações Finais**

O estudo da evolução e da gravidade da degradação das zonas componentes da fachada, efetuado por meio de três análises distintas, permite constatar que o fenômeno apresenta diferentes respostas associadas à influência dos agentes climáticos, dos elementos construtivos e da idade.

Na Análise 1, por meio do estudo da probabilidade de ocorrência baseada na frequência relativa das anomalias, determina-se a probabilidade dos danos ocorrerem nas diferentes

zonas componentes da fachada. Para esta análise, considerando as condições do conjunto de dados, os resultados indicam que a zona PC apresenta a maior probabilidade de ocorrência de anomalias, sendo o DC a anomalia mais provável, e as prumadas o tipo de elemento construtivo onde as anomalias mais ocorrem, independente do grupo de idade. Em termos das orientações destacam-se Norte, nos grupos 1 e 3 e Leste no Grupo 2.

Os resultados da probabilidade de ocorrência de cada anomalia nas diferentes orientações permitem constatar a influência dos agentes climáticos na degradação das zonas. Na maior parte dos casos, as maiores probabilidades de ocorrência das anomalias nas zonas são observadas nas orientações Norte e Oeste, que apresentam a maior incidência de radiação solar e chuva dirigida ao longo do ano na cidade de Brasília. De modo geral, as anomalias que tem maior associação com estes agentes climáticos despontam nas zonas que apresentam maior exposição a estes agentes, como é o caso das fissuras na zona TO, das eflorescências na zona SC e das falhas de rejunte na zona PC. Avaliações similares associadas à inspeção, classificação, compreensão e diagnóstico de anomalias que ocorrem em sistemas de revestimento cerâmico também são apresentadas por Silvestre (2005), Silvestre e de Brito (2004), Silvestre e de Brito (2005), Silvestre e de Brito (2011) e Silva *et al.* (2016).

Para a Análise 2, onde a intensidade dos danos é avaliada por meio do Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ), a resposta da degradação é diferente nos três grupos de idade. No Grupo 1, a zona PC, a anomalia DC, a orientação Leste e o elemento construtivo do tipo prumada apresentam os maiores valores do indicador de degradação ( $FD_w$ ). No Grupo 2, destacam-se a zona AB, a anomalia DC, a orientação Sul e o elemento construtivo do tipo prumada. No Grupo 3, destacam-se a zona PC, a anomalia DC, a orientação Oeste e o elemento construtivo do tipo caixa de escada.

Na Análise 3 são apresentadas as associações entre intensidade ( $FD_w$ ) e frequência de ocorrência das anomalias, considerando os diferentes grupos de idade. Nesta análise, os resultados indicam como zonas mais graves CE, TP e PC no Grupo 1, AB, SC e PC no Grupo 2 e PC, TP e CE no Grupo 3.

Avaliações baseadas na frequência de ocorrência das anomalias em diferentes zonas e componentes de fachada foram desenvolvidas por Carretero-Ayuso *et al.* (2017), Santos *et al.* (2017) e Mousavi *et al.* (2019), e apresentam conclusões similares às obtidas nas análises 1, 2 e 3. Os autores avaliaram a influência de variáveis como o tipo, tamanho, cor, densidade e tipo de acabamento do material de revestimento, a localização do revestimento na fachada e

características do sistema de fixação, na ocorrência de manchas, eflorescências, fissuração, descolamento, entre outros, ao longo do tempo. Os resultados obtidos revelam que, em diferentes intensidades, todas as variáveis estudadas influenciam na degradação das fachadas com o avanço da idade das edificações. Alertando, principalmente, sobre a necessidade do estudo constante, e detalhado, das variáveis envolvidas no processo de degradação, e das diferentes zonas e componentes da fachada.

As curvas de degradação permitem avaliar como a degradação total das fachadas de edifícios evolui com o tempo, em função da orientação e do tipo de elemento construtivo das amostras. Os resultados obtidos mostram que, em maior ou menor grau, e de maneira distinta, as variáveis estudadas influenciam na degradação das fachadas e, conseqüentemente, no seu tempo de vida útil. Publicações técnicas sobre a estimativa da vida útil dos sistemas de revestimento cerâmico de fachadas, baseadas no estudo de curvas de degradação, são também apresentadas por Shoet *et al.* (1999), Shoet e Paciuk (2004), Bauer *et al.* (2014), Galbusera *et al.* (2014a), Galbusera *et al.* (2014b), Silva *et al.* (2012), Silva *et al.* (2016) e Souza *et al.* (2018b) e trazem diferentes contribuições com relação a influência de variáveis ambientais e construtivas no estudo da severidade da degradação e da vida útil dos edifícios.

Os modelos de degradação, obtidos por meio da regressão múltipla linear, mostram que a importância de cada uma das zonas em relação à distribuição dos danos nas amostras de fachada se altera conforme a idade e conforme o fator inserido no modelo ( $P_f$ ,  $FD_w$ ,  $FD_z$ ). A capacidade de explicação do fenômeno por meio dos diferentes fatores estudados varia de 14,60 a 100%. O modelo de degradação com melhor capacidade de representar fisicamente o fenômeno de degradação das fachadas é aquele que leva em consideração os resultados do Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) para todas as amostras. Trabalhos publicados por Silva *et al.* (2016), Souza *et al.* (2018a), Souza *et al.* (2018b) e no CIB (W80, 2004) apresentam conclusões semelhantes, e mostram a efetividade de estudar a degradação de sistemas de revestimento cerâmico de fachada com o emprego de métodos determinísticos.

Por meio das análises de probabilidade de ocorrência, intensidade e gravidade da degradação, das curvas de degradação e dos modelos de degradação, pode-se afirmar que o resultado da degradação varia, em maior ou menor grau, em função de todas as variáveis independentes estudadas e é diferente para cada uma das variáveis dependentes. Desta forma, não é correto afirmar que uma zona apresentar maior probabilidade de ocorrência das anomalias implica em maior intensidade e/ou gravidade da degradação.



Além disso, os resultados permitem confirmar que as zonas componentes da fachada são afetadas de maneiras distintas conforme o tipo de elemento construtivo, a orientação e, principalmente, a idade, comprovando a importância e a necessidade do estudo isolado de cada uma delas.

Os resultados obtidos são um indicativo factível das tendências de ocorrência das anomalias e da gravidade da degradação nas zonas componentes da fachada, baseados no estudo de 45.877 m<sup>2</sup> de área de fachada. Cabe ressaltar, entretanto, que devido ao elevado número de variáveis associadas ao fenômeno de degradação, quando novos edifícios forem adicionados ao conjunto de dados, embora a proporção de vezes com que os eventos ocorrem tenda a se estabilizar, podem surgir novos acontecimentos, que não foram captados nas 145 amostras estudadas, capazes de alterar os padrões observados.

## 5 CONCLUSÕES

O Método de Mensuração de Degradação (MMD) se mostra eficaz na avaliação da degradação das amostras e dos danos por zona de fachada, permitindo a sua quantificação e a análise dos principais fatores que a condicionam. Os resultados mostram que as zonas componentes da fachada degradam-se de maneira distinta conforme orientação, tipo de elemento construtivo e idade.

A probabilidade de ocorrência das anomalias está diretamente associada à extensão da área das zonas e dos tipos de elemento construtivo, e à sua maior ou menor exposição aos agentes climáticos. Neste sentido, nota-se uma maior ocorrência dos danos na zona de paredes contínuas e no elemento construtivo do tipo prumada, que apresentam as maiores áreas do conjunto de dados estudado, e nas orientações Norte e Oeste, que recebem as maiores incidências de radiação solar e chuva dirigida.

O Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) confirma que edifícios com idades mais avançadas tendem a apresentar níveis de degradação mais intensos. Esta constatação permite afirmar que as respostas deste indicador de degradação são governadas, sobretudo, pelo efeito cumulativo dos diferentes tipos de danos ao longo da vida do edifício, que acarretam, por exemplo, na evolução de outras anomalias, como fissuras e falhas de rejunte, para o descolamento cerâmico. Observa-se também a influência dos agentes climáticos nas respostas de degradação, principalmente nos edifícios com maiores idades, onde as orientações Oeste e Norte mostram-se mais críticas. Embora não se estabeleça uma relação clara entre o  $FD_w$  e os tipos de elemento construtivo, nota-se que as características arquitetônicas influenciam de maneira distinta na intensidade dos danos, evidenciando, nos edifícios com mais de 25 anos, as caixas de escada como o tipo de elemento mais crítico.

Com relação à gravidade da degradação, os resultados mostram que, para cada idade do edifício, as importâncias da intensidade ( $FD_w$ ) e da frequência de ocorrência dos danos variam. Neste contexto, o Índice de Gravidade Relativa (IGR) se mostra uma ferramenta eficiente para a ponderação conjunta destes dois fatores e para a determinação do que é mais grave para a edificação. Ainda neste aspecto, pode-se afirmar que a gravidade dos defeitos pontuais é maior que dos generalizados, uma vez que acontecem com frequência mais elevada. Os defeitos generalizados tendem a ser mais graves nos edifícios com idades maiores, enquanto os pontuais são mais graves nas idades iniciais.

Para as análises de probabilidade de ocorrência ( $P_f$ ), intensidade da degradação ( $FD_w$ ) e gravidade da degradação (IGR) não se observa uma hierarquização das zonas em termos da degradação para as diferentes anomalias, idades, orientações e tipos de elemento construtivo. Por este motivo, não se consegue apontar uma única zona da fachada como a mais crítica ou mais grave frente à degradação. As zonas PC, TP e TO são as de maior destaque, tendo aparecido entre as mais críticas em quase todas as análises. Estes resultados chamam atenção para a importância e a necessidade de se avaliar cada zona componente da fachada separadamente.

O uso da regressão múltipla linear para a determinação de modelos de degradação se mostrou eficiente, sendo capaz de determinar que as importâncias associadas às zonas da fachada variam em termos da probabilidade de ocorrência frequencista ( $P_f$ ), do Fator de Danos Ponderado ( $FD_w$ ) e do Fator de Danos da Zona ( $FD_z$ ). O  $FD_w$  é capaz de representar com elevada eficiência a distribuição dos danos nas zonas de fachada, sendo o principal responsável por explicar a variabilidade do Fator de Danos (FD).

Para todas as análises efetuadas, os resultados permitem afirmar que, no estudo da degradação de edifícios com sistema de revestimento cerâmico de fachadas, trabalhar com grupos de idade é mais efetivo e representa melhor a realidade da degradação dos edifícios, do que as análises médias do conjunto de dados como um todo.

Desta forma, evidencia-se como principais conclusões desta pesquisa que o descolamento cerâmico é a anomalia mais intensa e com maior probabilidade de ocorrência em sistemas de revestimento cerâmico de fachadas, independente da zona avaliada. Não se consegue, entretanto, estabelecer uma zona mais crítica ou grave, uma vez que os resultados variam com relação à idade e à forma de análise. A orientação e o tipo de elemento construtivo influenciam no grau de dano das zonas de maneira distinta, sendo as orientações Norte e Oeste e o elemento construtivo do tipo caixa de escada os mais críticos, principalmente nos edifícios com idade superior a 25 anos.

## **5.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros**

Os resultados obtidos por meio do desenvolvimento desta dissertação podem ser consideravelmente amplificados dando continuidade ao processo de inspeção e avaliação de edifícios. Desta maneira são sugestões para trabalhos futuros as seguintes propostas.

- Aplicar o Método de Mensuração de Degradação (MMD) em novos edifícios a fim de identificar e estabelecer padrões de degradação.
- Empregar as ferramentas de análise não somente para os grupos de idade, mas também para as diferentes tipologias e alturas de edifícios, para avaliar a influência de outras variáveis na degradação.
- Integrar a Nota Técnica às análises de degradação, a fim de estabelecer critérios capazes de identificar edifícios com tipologias e características arquitetônicas similares.
- Utilizar ferramentas estatísticas para avaliação da importância de cada uma das variáveis no processo de degradação e da vida útil.
- Implementar ferramentas que permitam estabelecer valores limites para degradação nas zonas.

## REFERÊNCIAS

ABERLE, T.; KELLER, A.; E ZURBRIGGEN, R. *Efflorescence Mechanisms of formation and ways to prevent*. 2º Congresso Nacional de Argamassas para Construção - APFAC, Lisboa, 2007. 01-07 pp.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a. 71 p.

\_\_\_\_\_. NBR 15575-2: **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b. 31 p.

\_\_\_\_\_. NBR 15575-3: **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013c. 42 p.

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

\_\_\_\_\_. NBR 15575-5: **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013e. 73 p.

\_\_\_\_\_. NBR 15575-6: **Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013f. 32 p.

\_\_\_\_\_. NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2013g. 8 p.

AIDAR, L. A. G. **Metodologia de inspeção e análise de termogramas para estudo de fachadas em revestimento cerâmico**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 2019.

AMORIM, C. N.; FLORES, A. L. **Edifícios residenciais das superquadras do Plano Piloto, Brasília: Aspectos de preservação e conforto ambiental**. Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC/ELACAC. Maceió, Brasil, 2005. 37–46 pp.

AMORIM, C. N. D.; BRAGA, D. K.; CHRISTAKOU, E. D.; GRILLO, J. C. S.; LIMA, T. B. S.; BALDOÍNO, V. **Reabilitação ambiental e uso da luz natural na arquitetura moderna: Brasília Palace Hotel e Palácio do Itamaraty**. Paranoá. v. 3, 2014. 115-128 pp.

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

ARCHITECTURAL INSTITUTE OF JAPAN. *The English Edition of Principal Guide for Service Life Planning of Buildings*. Japão: AIJ, 1993.

ASTM E 632-81. *Standard Practice for Developing Accelerated Tests to a Prediction of the service Life of Building Components and Materials*. Filadélfia: American Society for Testing and Materials, 1996. 6 p.

BARREIRA, E.; DE FREITAS, V. P. *Evaluation of building materials using infrared thermography*. Construction and Building Materials, 21(1), 2007. 218–224 pp.

BARREIRA, E.; DE FREITAS, V.P. *Evaluation of Surface Humidification of Exterior Insulation and Finish Systems*. Journal of Performance of Constructed Facilities, 30(2), 2016. 04015026 pp.

BAUER, E., CASTRO, E. K. **Metodologia de estudo das patologias das fachadas de edifícios**. Relatório interno - Laboratório de Ensaio de Materiais - LEM – UnB, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BAUER, E., MOTA, N. M. B.; CASTRO, E. K. **RELATÓRIO TÉCNICO no.0705125b**. Relatório interno - Laboratório de Ensaio de Materiais - LEM – UnB, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; LEAL, F. E.; ANTUNES, G. R. *Identification and quantification of failure modes of new buildings façades in Brasília*. 12th DBMC – International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, Porto, Portugal, 2011. 1089-1096 pp.

BAUER, E.; KRAUS, E.; SILVA, M. N. B.; ZANONI, V.A.G. *Evaluation of Damage of Building Facades in Brasília*. 13th DBMC – International Conference on Durability of Buildings Materials and Components, São Paulo, Brazil, 2014. 535–542 pp.

- 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*, 61(1), 2015. 151-159 pp.
- BAUER, E.; PAVÓN, E.; OLIVEIRA, E.; PEREIRA, C. H. *Facades inspection with infrared thermography: cracks evaluation*. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 1(1), 2016. 1-7 pp.
- BAUER, E., PIAZZAROLLO, C. B.; SOUZA, J. S. **Relatório interno - Laboratório de Ensaio de Materiais - LEM – UnB**. Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- BLOCKEN, B.; DEROME, J.; CARMELIET, J. *Rainwater runoff from building facades: a review*. *Building and Environment*, 2013. 339-361 pp.
- BRAGA, D. K., E AMORIM, C. N. **Conforto térmico em edifícios residenciais do Plano Piloto de Brasília**. I Conferência Latino-Americana de Construções Sustentáveis e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC. São Paulo. Brasil, 2004. 1-8 pp.
- BRANCO, F. A.; PAULO, P.; GARRIDO, M. **O que é Vida Útil na Construção Civil?** Boletim Técnico ALCONPAT nº 04, 2013. 27 p.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 7543. *Guide to durability of buildings and building elements, products and components*. London, 2003.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS ISO 15686-1 *Buildings and constructed assets — Service life planning*. Part 1: General principles and framework. London, 2011.
- BORDALO, R.; DE BRITO, J. P.; GASPAR, L.; SILVA, A. **Abordagem a um modelo de previsão da vida útil de revestimentos cerâmicos aderentes**. Teoria e Prática na Engenharia Civil, 2010. 55–69 pp.
- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION GROUP. S 478-95: *Guidelines on Durability in Buildings*. Ontário: CSA, 1995. 101 p.
- CARRETERO-AYUSO, M. J.; MORENO-CANSADO, A; DE BRITO, J. *Study of the prevalence of critical and conflict-prone points in facades*. *Engineering Failure Analysis*, 2017. 15-24 pp.

CHAI, C.; DE BRITO, J.; GASPAR, P.; SILVA, A. *Statistical modelling of the service life of exterior painted surfaces*. International Journal of Strategic Property Management. v. 19(2), 2015. 173-18 pp.

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

DAMASCENO, C. M. **O QUE SIGNIFICA BRASÍLIA SER UM BEM TOMBADO E PROTEGIDO?**. Urbanistas por Brasília. Disponível em: <<http://urbanistasporbrasil.com/sobre-o-tombamento.html>>. Acesso em: 18 de Junho de 2019.

DE BRITO, J.; GASPAR, P. L.; SILVA, A. **Métodos de Previsão da Vida Útil de Revestimentos de Fachada**. X Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas, Anais, 2013, 20 p.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações**. X Congresso Internacional de Tintas. São Paulo, 2007 , 12 p.

DORNELLES, K. A. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA**. Tese de Doutorado. Univesidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008.

EMÍDIO, F.; DE BRITO, J.; GASPAR, P.; SILVA, A. *Application of the factor method to the estimation of the service life of natural stone cladding*. Construction and Building Materials. v. 66, 2014. 481-493 pp.

FINGER, F.B.; GONZÁLEZ, M. S.; KERN, A. P. *Control of finished work - Final quality inspection in a social housing project*. Revista Ingeniería de Construcción, 30(2), 2015. 147-153 pp.

FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; DE FREITAS, V. P. *Methodology for vertical envelope design, inspection and maintenance*. Proceedings of the 2nd CIB Student Chapters International Symposium - Sustainability and Innovation in Construction and Real Estate, 2004. 30-31 pp.



FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; DE FREITAS, V. P. *Stains in facades' rendering-diagnosis and maintenance techniques' classification*. Construction and Building Materials, 22(3), 2008. 211-221 pp.

FLORES-COLEN, I. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. Tese de Doutoramento. Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; DE FREITAS, V. P. *Methodology for in-service performance assessment of rendering facades for predictive maintenance*. CIB World Building Congress, Stanford, Reino Unido, v. 388, 2009. 12 p.

FREITAS, A. S. S. L. A. **Avaliação do comportamento hidrotérmico de revestimentos exteriores de fachadas devido à acção da chuva incidente**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

FREITAS, V. P.; VIEIRA, M.; GUIMARÃES, A. S. *The French, Norwegian and Danish experience*. A State-of-the-Art Report on Building Pathology, CIB Publication 393, 2013. 30-35 pp.

GALBUSERA, M. M. *Application of the factor method to the prediction of the service life of ceramic external wall claddings*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.

GALBUSERA, M. M., DE BRITO, J., E SILVA, A. *The importance of the quality of sampling in service life prediction*. Construction and Building Materials, (66), 2014a. 19-29 pp.

GALBUSERA, M. M.; DE BRITO, J.; SILVA, A. *Application of the factor method to the prediction of the service life of ceramic external wall cladding*. Journal of Performance of Constructed Facilities, 29(3), 2014b. 04014086 pp.

GASPAR, P. L.; DE BRITO, J. **Modelo de degradação de rebocos**. Revista Engenharia Civil. Universidade do Minho, v.24, 2005 (a). 17-27 pp.

GASPAR, P. L.; DE BRITO, J. *Mapping defect sensitivity in external mortar renders*. Construction and Building Materials, v. 19, 2005 (b). 571–578 pp.

GASPAR, P.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. **Técnicas de diagnóstico e classificação de anomalias por perda de aderência em rebocos**. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, Lisboa, Portugal, 2007.

GASPAR, P.; DE BRITO, J. *Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: a comparison between different degradation indicators*. Building and Environment, v. 43, n. 11, 2008. 1818-28 pp.

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**. Tese de Doutorado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

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

GASPAR, K.; CASALS, M.; GANGOLELLS, M. *Classifying system for facades and anomalies*. Journal of Performance of Constructed Facilities, 30(1), 2016. 04014187 pp.

GASPAR, P. L. *End of the Service Life of Ceramic Cladding: Lessons from the Girasol Building in Madrid*. Journal of Performance of Constructed Facilities, 31(2), 2017. 04016088 pp.

HAAGENRUD, S. *Factors Causing Degradation: Part II. Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components*. CIB Publication 295, 2004. 1.2-104 pp.

HENRIQUE, E. S. **Sensibilidade à degradação das fachadas – estudo dos aspectos construtivos**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

HOVDE, P. J. *Factor methods for service life prediction. In: Performance Based Methods for Service Life Prediction*. Performance Based Methods for Service Life Prediction. CIB Publication 294, 2004. 01-51 pp.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/DIS 15686-3: *Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 3: Performance audits and reviews*. ISO, 2002.

\_\_\_\_\_.ISO/DIS 15686-6: *Buildings and constructed assets - Service-life planning. Part 6: Procedures for considering environmental impacts*. ISO, 2004.

\_\_\_\_\_.ISO/DIS 15686-7: *Buildings and constructed assets -- Service life planning. Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice*. ISO, 2006.

\_\_\_\_\_.ISO/DIS 15686-5: *Buildings and constructed assets - Service-life planning. Part 5: Lifecycle costing*. ISO, 2008.

\_\_\_\_\_.ISO/DIS 15686-8: *Buildings - Service life planning. Part 8: Reference service life and service-life estimation*. ISO, 2008.

\_\_\_\_\_.ISO/DIS 15686-9: *Buildings and constructed assets - Service-life planning. Part 9: Guidance on assessment of service-life data*. ISO, 2008.

\_\_\_\_\_.ISO/DIS 15686-10: *Buildings and constructed assets - Service life planning- Part 10: When to assess functional performance*. ISO, 2010.

\_\_\_\_\_.ISO/DIS 15686-1: *Buildings - Service life planning. Part 1: General principles and framework*. ISO, 2011.

\_\_\_\_\_.ISO/DIS 15686-2: *Buildings - Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures*. ISO, 2012.

JERNBERG, P.; SJÖSTRÖM, C.; LACASSE, M. A.; BRANDT, E.; SIEMES, T. *Service life and durability research. Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components*. CIB Publication 295, 2004, 11-59 pp.

KAZMIERCZAK, C. S.; KULAKOWSKI, M. P.; BREHM, F. A.; SENTENA, J. A. A.; MARQUETTO, L. *Considerações sobre a Avaliação da Durabilidade de Revestimentos de Argamassa com Incorporação de Resíduos por Meio de Ensaios Acelerados com Ciclos Térmicos*. Em: Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade – ANTAC, Capítulo 6. Ed. Scienza, Porto Alegre, Brasil, 2016. 147 – 175 pp.

LACASSE, M. A.; SJÖSTRÖM, C. *Recent advances in methods for service life prediction of building materials and components – an overview*. Proceedings of the CIB World Building Congress, Toronto, Ontario, Canadá, 2004. 1-10 pp.

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

- MARTIN, J. W.; SAUNDERS, S. C.; FLOYD, F. L.; WINEBURG, J. P. *Methodologies for Predicting the Service Lives of Coating Systems*. NIST Building Science Series 172, Gaithersburg, MD, USA, 1994.
- MARTIN, J. W. *A Systems Approach to the Service Life Prediction Problem for Coating Systems*. Service Life Prediction of Organic Coatings: A Systemic Approach, ACS Symposium Series, American Chemical Society, Vol. 722, 1999. 1-20 pp.
- MARTINS, M. E. G. **Introdução à probabilidade e a estatística – Com complementos de Excel**. Departamento de Estatística e Investigação Operacional da FCUL - Sociedade Portuguesa de Estatística. ISBN – 972–8890–03-6. Lisboa, Portugal, 2005.
- MASTERS, L. W.; BRANDT, E. *Prediction of service life of building materials and components*, RILEM Technical Committee, CIB W80/RILEM 71-PSL Final Report, Materials and Structures, 20, 1987. 55-77 pp.
- MASTERS, L. W.; BRANDT, E. *Systematic methodology for service life prediction of building materials and components*, RILEM Recommendations, CIB W80/RILEM 71-PSL TC, Materials and Structures, 22, 1989. pp. 385-392.
- MAZER, W.; SILVA, L. M. R.; LUCAS, E.; SANTOS, F. C. M. *Evaluation of pathological manifestations in buildings according to orientation geographic*. Revista ALCONPAT, 6(2), 2016. 145-156 pp.
- MILHOMEM, P. M. **Critérios para identificação e avaliação do grau de dano de fissuras em fachadas de edifícios com aplicação da termografia de infravermelho**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 2019.
- MINISTRY OF BUSINESS, INNOVATION & EMPLOYMENT. *New Zealand Building Code Handbook*. Wellington, 2014. 226 p.
- MOUSAVI, S. H.; SILVA, A.; DE BRITO, J.; EKHLASSI, A; HOSSEINI, S. B. *Influence of Design on the Service Life of Indirectly Fastened Natural Stone Cladding*. Construction and Building Material, 33(3), 2019. 04019021-1-11 pp.
- NADOUSHANI, Z. S. M.; AKBARNEZHAD, A.; JORNET, J. F.; XIAO, J. *Multi-criteria selection of façade systems based on sustainability criteria*. Building and Environment, v.121, 2017. 67-78 pp.

PAULO, P.V.; BRANCO, F. A.; DE BRITO, J. *Using Orthophotography Based on BuildingsLife Software to Inspect Building Facades*. Journal of Performance of Constructed Facilities, 28(5), 2014. 04014019 pp.

PAVÓN DE LA FE, E. **Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PEDRA, S. A. **Potencialidades da termografia infravermelha aplicada ao design do conforto térmico de alvenaria estrutural**. Dissertação de mestrado. Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PINHEIRO, C. S. P. M. **Modelos de gestão da degradação de fachadas em pedra de edifícios antigos**. Dissertação de mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2013.

PINHEIRO, P. I. S. **Aplicação do método de mensuração da degradação (MMD) ao estudo das fachadas de edifícios em Brasília**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

PLANALTO - Presidência da República Federativa do Brasil. **Brasília, patrimônio cultural da humanidade**. Disponível em: <<http://planalto.gov.br/restauracao/brasil-patrimonio-cultural-da-humanidade>>. Acesso em: 18 de Junho de 2019.

PROPERTY SERVICES AGENCY. PSA. *Defects in Buildings*. HMSO publications. London, 1989. 522 p.

RODRIGUES, M. F. S.; TEIXEIRA, J. M. C.; CARDOSO, J. C. P. *Buildings envelope anomalies: A visual survey methodology*. Construction and Building Materials, 2011, 25(5). 2741-2750 pp.

SANTOS, M. J. B. O. **Catálogo de patologias em fachadas de edifícios residenciais em Brasília**. Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília, Brasília. 2017.

SANTOS, A; VICENTE, M.; DE BRITO, J; FLORES-COLEN, I.; CASTELO, A. *Analysis of the Inspection, Diagnosis, and Repair of External Door and Window Frames*. Construction and Building Materials, 2017, 31(6). 04017098-1-7 pp.

SANTOS, D. G. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

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

SHOHET, I. M.; ROSENFELD, Y.; PUTERMAN, M.; GILBOA, E. *Deterioration patterns for maintenance management - a methodological approach*. Durability of Building Materials and Components, V.2, Anais, Ottawa, 1999.

SHOHET, I. M.; PACIUK, M. *Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions*. Construction Management and Economics, 2004, 22(10). 1081-1090 pp.

SJÖSTRÖM, C. H.; BRANDT, E. *Collection of in-service performance data: state-of-the-art and approach* by CIB W80/RILEM 100-TSL, RILEM Technical Committees, Prediction Techniques of Service Life, CIB W80/RILEM 100-TSL, Materials and Structures, 24, 1991. 70-76 pp.

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

SILVA, A.; DE BRITO, J.; GASPAR, P. *Application of the factor method to maintenance decision support for stone cladding*. Automation in Construction, v. 22. 2012. 165–174pp.

SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – aplicação ao caso de Brasília/DF**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, 2014.

SILVA, A.; GASPAR, P.; DE BRITO, J.; NEVES, L. C. *Probabilistic analysis of degradation of facade claddings using Markov chain models*. Materials and Structures. 2015. 1-22 pp.

SILVA, A.; GASPAR, P.; DE BRITO, J. *Methodologies for Service Life Prediction of Buildings: With a Focus on Façade Claddings*. Springer International Publishing, 1st Ed, Switzerland, 2016.

SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. **Classificação de anomalias em sistemas de revestimentos cerâmicos aderentes**. Congresso Construção 2004, Faculdade de Engenharia do Porto, v.2, 2004. 879-884 pp.

SILVESTRE, J. D. **Sistema de apoio à inspeção e diagnóstico de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes.** Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2005.

SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. *Development of a supporting system for inspection and diagnosis of ceramic wall or floor tiling laid on mortar or adhesive.* CIB W102 – Meeting on Information and Knowledge Management in Building and International Conference on Information and Knowledge Management in a Global Economy, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2005. 269-278 pp.

SILVESTRE, J. D.; DE BRITO, J. *Ceramic tiling in building facades: Inspection and pathological characterization using an expert system.* Construction and Building Materials, v. 25, n. 4, 2011. 1560-1571 pp.

SOUSA, R. D. **Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachada.** Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, Lisboa. 2008.

SOUSA, H.; SOUSA, R.; SILVA, F. M.; SOUSA, F. **Fachadas de Edifícios.** Lidel, Porto, Portugal, 2016.

SOUZA, J. S.; BAUER, E.; NASCIMENTO, M. L. M. **Estudo da quantificação da degradação de fachadas de edifícios por meio do mapeamento de anomalias.** IV CIRMARE – Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios, Rio de Janeiro, Brasil, 2015. 1-12 pp.

SOUZA, J. S.; BAUER, E. *Degradation pattern for the envelope of buildings - Study of region's facade.* XII International Conference on Structural Repair and Rehabilitation, Porto, Portugal, 2016. 1-11 pp.

SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 2016.

SOUZA, J. S.; PIAZZAROLLO, C. B.; BAUER, E. *Influence of the elements contained by the facade on the degradation process.* XIV International Conference on Building Pathology and Construction Repair – CINPAR 2018, Florença, Itália, 2018a. 1-13 pp.

SOUZA, J. S.; SILVA, A.; DE BRITO, J.; BAUER, E. *Service life prediction of ceramic tiling systems in Brasília-Brazil using the factor method*. Construction and Building Materials, v. 192, 2018b. 38-49 pp.

STRAUBE, J.F. *Moisture control and enclosure wall systems*. Tese de Doutorado, University of Waterloo, Ontario, Canadá, 1998.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2010.

UEMOTO, K. L. **Patologia: danos causados por eflorescência. Tecnologia de edificações**. Tecnologia de edificações. IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, Coletânea de trabalhos da Div. de Edificações do IPT, São Paulo, 1988. 561-564 pp.

TRINIUS, W.; SJÖSTRÖM, C. *Service Life Planning and Performance Requirements*. Building Research & Information. V.33(2), 2005. 173-181 pp.

UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Brasília**. Disponível em <<http://whc.unesco.org/en/list/445/>>. Acesso em: 18 de Junho de 2019.

YANG, J.; WANG, Z. H.; KALOUSH, K. E. *Environmental impacts of reflective materials: Is high albedo a ‘silver bullet’ for mitigating urban heat island?* Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 47(1). 830-843 pp.

ZANONI, V. A. G.; SANCHEZ, J. M. M.; BAUER, E. **Chuva dirigida: um estudo da ISO 15927-3 no contexto brasileiro**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – XV ENTAC, 2014. 1645-1654 pp.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, 2015.