



**QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADAS  
COM REVESTIMENTO EM ARGAMASSA E PINTURA -  
ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA-DF**

**THÁLIA RAELLY DE L. M. ROMEIRO**

**MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA**

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

**QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADAS COM  
REVESTIMENTO EM ARGAMASSA E PINTURA - ESTUDO DE CASO EM  
BRASÍLIA-DF**

**THÁLIA RAELLY DE L. M. ROMEIRO – 210015322**

**ORIENTADOR: Prof. Elton Bauer, DSc**

**BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2023**

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

**QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO EM FACHADAS COM  
REVESTIMENTO EM ARGAMASSA E PINTURA - ESTUDO DE CASO EM  
BRASÍLIA-DF**

**THÁLIA RAELLY DE L. M. ROMEIRO – 210015322**

**DEFESA DE MESTRADO SUBMETIDO 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.**

**APROVADA POR:**

---

**ELTON BAUER, Dr. (UnB)**

**(ORIENTADOR)**

---

**CLAUDIO DE SOUZA KAZMIERCZAK, Dr. ( UNISINOS)**

**(EXAMINADOR EXTERNO)**

---

**JOSÉ GETULIO GOMES DE SOUSA, Dr. ( UNIVASF )**

**(EXAMINADOR EXTERNO)**

**BRASÍLIA/DF, 19 DE DEZEMBRO DE 2023**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ROMEIRO, THÁLIA RAELLY DE LIMA MENESES

Quantificação da degradação em fachadas com revestimento em argamassa e pintura - Estudo de caso em Brasília - DF [Distrito Federal] 2023.

xxiii, 143 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2023).

Dissertação de mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Fachadas

2. Vida útil

3. Degradação

4. Revestimento em Argamassa

I. ENC/FT/UnB

II. Título (Mestre)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROMEIRO, T. R. L. M. (2023). Quantificação da degradação em fachadas com revestimento em argamassa e pintura - Estudo de caso em Brasília - DF. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 143 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Thália Raelly de Lima Meneses Romeiro

TÍTULO: Quantificação da degradação em fachadas com revestimento em argamassa e pintura - Estudo de caso em Brasília - DF

GRAU: Mestre

ANO: 2023

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. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito da autora.

---

Thália Raelly de Lima Meneses Romeiro

SQS 310, Bloco G, Apartamento 310, Asa Sul – CEP:70.363-070 – Brasília – DF – Brasil

*À Deus, acima de tudo,  
aos meus pais, Janete e Romeiro e ao meu marido, Iwar Neto,  
que sempre me incentivaram na realização da pesquisa e  
me apoiaram ao longo dessa caminhada.  
À minha avó Janice por todas as orações.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por me dar forças ao longo de toda jornada dessa pesquisa para superar os obstáculos.

Ao meu marido, Iwar Neto por estar sempre ao meu lado me dando forças, me ajudando sempre que necessário com muito carinho e compreensão. Agradeço por me ajudar nos momentos difíceis em que estava cansada física e mentalmente.

Aos meus pais, Janete e Romeiro, que sempre estão ao meu lado em todos os momentos, me dando forças e me auxiliando no necessário. Agradeço por todo amor e por nunca medirem esforços para me ajudar.

À minha avó Janice que, mesmo morando em outra cidade, mandava suas energias e forças pelas orações diárias.

Ao meu orientador, professor Elton Bauer, por todo apoio, orientação e compreensão ao longo do desenvolvimento desse trabalho. Agradeço por todo conhecimento compartilhado e tempo disponibilizado. Ao professor Lenildo por todo apoio com a equipe de drone ao longo das inspeções prediais.

Aos meus colegas de UNB, Ana Luiza, Matheus Souza e Melissa, por todo apoio, ajuda na realização das inspeções e pelas trocas de experiência e conhecimentos ao longo do curso.

## RESUMO

### **Quantificação da Degradação em Fachadas com Revestimento em Argamassa e Pintura - Estudo de Caso em Brasília-DF**

Autora: Thália Raelly de L. M. Romeiro

Orientador: Elton Bauer

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, dezembro de 2023

Os edifícios são formados de diversos sistemas e cada um deles recebe ações com intensidades diferentes. As fachadas e as coberturas são consideradas os sistemas com mais anomalias, tendo em vista que são os mais expostos a ações ambientais, como radiação, vento, precipitação e temperatura. As fachadas têm uma função importante para o edifício, não só pelo aspecto visual, garantindo a estética da edificação, mas também por manter as condições térmicas, resistência mecânica, estabilidade e proteção interna do edifício. Sendo assim, este estudo visa mensurar a degradação, a partir da análise da base de dados do Projeto “Degradação, Mensuração e Modelação” do PECC/UnB, que conta com diversas amostras para realização do estudo da degradação. Para ampliar a base de dados realizou-se a inspeção de campo de quatro edifícios localizados em Brasília e para a obtenção das imagens é utilizado um *drone*. Após a identificação das anomalias é realizada a quantificação dos danos da fachada, a partir do Método da Mensuração da Degradação. Dessa forma, com a quantificação das anomalias é possível propor um indicador de degradação para as fachadas em argamassa. Para isso é proposto os níveis de gravidade para cada uma das anomalias. A metodologia também se baseia no cálculo dos indicadores de degradação, como o Fator Geral de Danos, o Fator de Danos, o Fator de Danos Equivalente e o nível de gravidade, levando em consideração na análise os parâmetros que podem influenciar na extensão da degradação, como a idade e a orientação da fachada. Além de relacionar com a vida útil.

**Palavras-chave:** Degradação, Fachada, Argamassa, Anomalia e Vida útil.

## **ABSTRACT**

### **Quantification of Degradation in Facades with Mortar Coating and Painting - Case Study in Brasília-DF**

Buildings are composed of various systems, each subject to actions of differing intensities. Facades and roofs are considered systems with the highest number of anomalies, as they are the most exposed to environmental actions such as radiation, wind, precipitation, and temperature. Facades play an important role in buildings, not only visually, ensuring the aesthetics of the structure, but also in maintaining thermal conditions, mechanical resistance, stability, and internal protection of the building. Thus, this study aims to measure degradation through the analysis of the database from the 'Degradation, Measurement and Modeling' project of PECC/UnB, which includes various samples for the study of degradation. To expand the database, field inspections of four buildings located in Brasília were carried out, and a drone was used to obtain images. After the anomalies are identified, the facade damages are quantified using the Degradation Measurement Method. Therefore, with the quantification of the anomalies, it is possible to propose a degradation indicator for mortar facades. For this, severity levels for each of the anomalies are proposed. The methodology also relies on the calculation of degradation indicators, such as the General Damage Factor, the Damage Factor, the Equivalent Damage Factor, and the severity level, taking into account in the analysis parameters that can influence the extent of degradation, such as the age and orientation of the facade. In addition to relating it to the service life.

**Keywords:** Degradation, Facade, Mortar, Anomaly, and Service Life.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. ENQUADRAMENTO DA PESQUISA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1.OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 AGENTES DE DEGRADAÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>3. VIDA ÚTIL.....</b>	<b>11</b>
<b>4. FACHADAS EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1 MANCHAS .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 FISSURAS .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 DESCOLAMENTO .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4 ANOMALIAS DE PINTURAS .....</b>	<b>29</b>
<b>4.5 PULVERULÊNCIA E EFLORESCÊNCIA.....</b>	<b>31</b>
<b>5. QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO POR GASPAR .....</b>	<b>37</b>
<b>6. METODOLOGIA .....</b>	<b>41</b>
<b>6.1 ETAPA I – VERIFICAÇÃO E OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS.....</b>	<b>42</b>
<b>6.2 ETAPA II – CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS .....</b>	<b>45</b>

<b>6.2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS .....</b>	<b>45</b>
<b>6.2.2 TRATAMENTO DAS IMAGENS .....</b>	<b>46</b>
<b>6.3 ETAPA III – ESTUDO DA DEGRADAÇÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>6.3.1 QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>6.3.2 CÁLCULO DOS INDICADORES DE DEGRADAÇÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>6.3.3 DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE GRAVIDADE DA DEGRADAÇÃO DAS AMOSTRAS .....</b>	<b>56</b>
<b>6.3.4 ESTUDO PILOTO DOS INDICARES DE DEGRADAÇÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>7. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>73</b>
<b>7.1 DEGRADAÇÃO POR ANOMALIA .....</b>	<b>73</b>
<b>7.2 DEGRADAÇÃO POR ORIENTAÇÃO.....</b>	<b>77</b>
<b>7.3 DEGRADAÇÃO DA FACHADA POR IDADE.....</b>	<b>82</b>
<b>7.4 DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL .....</b>	<b>88</b>
<b>7.5 COMPARAÇÃO DOS INDICADORES DE DEGRADAÇÃO.....</b>	<b>90</b>
<b>8. CONCLUSÕES .....</b>	<b>93</b>
<b>8.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>95</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXO A – DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS.....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXO B – CENÁRIOS DAS SIMULAÇÕES .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO C – CÁLCULO DE <math>S_w</math> NA SIMULAÇÃO.....</b>	<b>127</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Estrutura de capítulos.....	4
Figura 2.1: Fatores que influenciam na evolução das anomalias e da degradação. ....	6
Figura 2.2: Agentes de degradação. Fonte: ISO 15686-2:2012 .....	7
Figura 2.3: Agentes de degradação de acordo com a origem. Fonte: ISO 15686-1:2011	8
Figura 2.4: Agentes e mecanismos de degradação. Fonte: Adaptado Cóias (2009) .....	9
Figura 3.1: Desempenho ao longo do tempo e a vida útil. Fonte: ABNT NBR 15575-1:2008 .....	13
Figura 4.1: Revestimento em argamassa. ....	16
Figura 4.2: Exemplo de distribuições das anomalias nas fachadas em argamassa.....	22
Figura 4.3: Exemplos de manchas .....	24
Figura 4.4: Tipos de Fissuras – Parte 1. Fonte: Lopes (2023).....	26
Figura 4.5: Tipos de fissuras – Parte 2. Fonte: Lopes (2023).....	27
Figura 4.6: Exemplos de descolamento da argamassa. ....	29
Figura 4.7: Exemplos de anomalias de pintura.....	30
Figura 4.8: Exemplos de eflorescência e pulverulência nas fachadas. ....	32
Figura 5.1: Divisão das Fachadas em amostras. Fonte: Piazzarollo (2019) .....	34
Figura 5.2: Exemplo de Curva de degradação. Fonte: Souza (2019) .....	37
Figura 6.1: Fluxograma da metodologia.....	41
Figura 6.2: Edifícios mais novos inspecionados .....	43
Figura 6.3: Arquitetura dos edifícios inspecionados na Asa Sul.....	44
Figura 6.4: Distribuição da Base de dados após as inspeções .....	44
Figura 6.5: Distribuição das amostras por orientação .....	44
Figura 6.6:Exemplo de divisão das amostras. ....	45
Figura 6.7: Imagem da fachada em 3D .....	47
Figura 6.8: Amostra obtida do <i>software Agiosoft Metashape Pro</i> .....	47
Figura 6.9: Aplicação da malha na amostra .....	48
Figura 6.10: Exemplo de sobreposição da malha ao mapeamento das anomalias .....	49
Figura 6.11:Fissuras classificadas com nível de gravidade 1 .....	57
Figura 6.12: Fissuras classificadas com nível de gravidade 2.....	58
Figura 6.13: Fissuras classificadas com nível de gravidade 3.....	58
Figura 6.14: Fissuras classificadas com nível de gravidade 4.....	59

Figura 6.15: Manchas com nível de gravidade 1 .....	60
Figura 6.16: Manchas na fachada – Nível de gravidade 2.....	61
Figura 6.17: Manchas escuras – Nível de gravidade 3.....	61
Figura 6.18: Descolamento da fachada – Nível de gravidade 2 .....	62
Figura 6.19: Descolamento da fachada – Nível de gravidade 3 .....	63
Figura 6.20: Descolamento da fachada – Nível de gravidade 4 .....	63
Figura 6.21: Anomalias de pintura – Nível de gravidade 1 .....	64
Figura 6.22: Anomalias de Pintura – Nível de Gravidade 2.....	65
Figura 6.23: Anomalia de pintura – Nível de gravidade 3 .....	65
Figura 6.24: Comparação dos cenários.....	68
Figura 6.25: Distribuição dos fatores de danos por anomalia .....	69
Figura 6.26: Cenário 14 – Simulação dos indicadores .....	70
Figura 6.27: Cenário 20 – Simulação dos indicadores .....	70
Figura 6.28: Comparativo entre o FGD proposto e o $Sw$ .....	71
Figura 7.1: Distribuição das anomalias nas amostras com revestimento em argamassa em Brasília-DF. ....	74
Figura 7.2: Distribuição dos fatores de danos por anomalia – (a) FD descolamento; (b) FD mancha; (c) FD fissuras; (d) FD anomalia de pintura .....	76
Figura 7.3: Fator de danos das amostras .....	76
Figura 7.4: Distribuição do número de amostras por orientação.....	77
Figura 7.5: Distribuição das áreas de anomalias por orientação .....	78
Figura 7.6: Distribuição das anomalias por orientação – (a) Fachada leste; (b) Fachada oeste; (c) Fachada sul; (d) Fachada norte .....	79
Figura 7.7: Variação do Fator geral de danos por orientação.....	81
Figura 7.8: FGD por orientação.....	82
Figura 7.9: Distribuição das amostras por idade – (a) Amostras com idade menor que 20 anos; (b) Amostras com idade entre 20 anos e 35 anos; (c) Amostras com idade maior que 35 anos .....	83
Figura 7.10: Variação do FGD por idade .....	85
Figura 7.11: Comparação do FGD pela idade e orientação.....	86
Figura 7.12: Distribuição das anomalias por idade. ....	86
Figura 7.13: Comparação do FD x $FD_{equi}$ .....	87

Figura 7.14: Modelo de degradação das fachadas com revestimento em argamassa.....	89
Figura 7.15: Vida útil estimada .....	90
Figura 7.16: Comparação dos indicadores por orientação .....	91
Figura 7.17: Comparação dos indicadores por idade - (a) FDequi; (b) FD; (c) FGD ....	92

## LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Grau de desempenho funcional pela norma ISO 15686-7:2017 .....	14
Quadro 3.2: Grau de consequência pela norma ISO 15686-7:2017 .....	15
Quadro 4.1: Anomalias nas fachadas .....	18
Quadro 5.1: Resumo dos Indicadores de Degradação .....	34
Quadro 5.2: Descrição das condições de degradação e o fator de gravidade.....	36
Quadro 5.3: Quantificação relativa das anomalias .....	37
Quadro 5.4: Condições de degradação pelos indicadores .....	40
Quadro 6.1: Instruções para a divisão das amostras das fachadas.....	46
Quadro 6.2: Nível de gravidade das fissuras .....	56
Quadro 6.3: Nível de gravidade das manchas .....	59
Quadro 6.4: Nível de gravidade dos descolamentos.....	63
Quadro 6.5: Nível de gravidade das anomalias de pintura .....	66
Quadro 7.1: Níveis de gravidade .....	91

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Vida útil de projeto dos elementos. ....	11
Tabela 6.1: Classificação das causas de anomalias, de acordo com a etapa do ciclo de vida do revestimento.....	51
Tabela 6.2: Matriz de correlação entre as causas prováveis/manifestações patológica .	52
Tabela 6.3: Obtenção do $I_c$ .....	53
Tabela 6.4: Matriz de correlação das anomalias sobre a queda de desempenho.....	54
Tabela 6.5: índice de importância relativa das anomalias .....	55
Tabela 6.6: Variação das áreas de anomalias nos cenários. ....	67
Tabela 6.7: Comparativo entre o FGD proposto e o $Sw$ . ....	71
Tabela 7.1: Distribuição das áreas de anomalias. ....	74
Tabela 7.2: Número de amostras por nível de gravidade por orientação. ....	80
Tabela 7.3: Número de amostras por nível de gravidade por intervalo de idade. ....	84

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
ISO	International Organization for Standardization
LEM	Laboratório de ensaios de materiais
MMD	Método de mensuração da degradação
PECC	Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil
UnB	Universidade de Brasília
VUP	Vida Útil de Projeto
FD	Fator de Danos
FGD	Fator Geral de Degradação
FD <sub>equi</sub>	Fator de Danos equivalente
FD <sub>anomalia</sub>	Fator de Danos da anomalia
De.A	Anomalia de descolamento
Fi.A	Anomalia de fissura
Pu.A	Anomalia de pulverulência
Ef.A	Anomalia de eflorescência
Ma.A	Anomalia de mancha
De.P	Anomalia de pintura – Descolamento
Fi.P	Anomalia de pintura – Fissura
Bo.P	Anomalia de pintura – Bolha



# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA**

As edificações podem apresentar defeitos logo no início da vida útil, muitas vezes causados por erros de projetos ou de execução que estão associados ao estudo das patologias. Ao longo da vida útil as edificações sofrem ações dos agentes e dos mecanismos de degradação, que variam dependendo da exposição da edificação aos agentes e das características dos materiais utilizados, sendo assim, as anomalias podem se desenvolver e se propagar com o decorrer do tempo, reduzindo assim o desempenho.

Os edifícios são formados de diversos sistemas, como as fachadas, coberturas, pilotis, entre outros. As fachadas e as coberturas são os sistemas mais expostos, tendo em vista que sofrem diretamente as ações dos agentes ambientais, como chuvas, ventos e radiação, e com isso costumam ser as mais degradadas, principalmente se não projetadas adequadamente.

As fachadas são sistemas complexos de se projetar, de se realizar a construção e as manutenções (Silva *et al.*, 2016). Por isso, o estudo da degradação das fachadas é fundamental para garantir aos edifícios o desempenho adequado e a segurança dos usuários, tendo em vista que são as fachadas que protegem as edificações dos principais agentes de degradação, como as chuvas, a radiação, a umidade, entre outros. Além da função de proteção, as fachadas também desempenham uma grande importância na estética, tendo em vista que são elas que definem a primeira impressão que os moradores e usuários podem ter do edifício.

## **1.2. ENQUADRAMENTO DA PESQUISA**

O estudo da degradação das fachadas, assim como o da vida útil e do desempenho, vem sendo abordado com vários focos, como o estudo das patologias, a estimativa de vida útil, a degradação dos sistemas das edificações, entre outros. As pesquisas ocorridas nos últimos anos sobre o assunto, como Gaspar (2002 e 2009), Silvestre Macêdo (2017), Santos (2018), Pereira, De Brito e Silvestre (2018), Piazzarollo, Souza (2019), Mota (2021) e Lopes (2023) comprovam a importância desse assunto. Muitas dessas pesquisas, realizadas no cenário nacional, focam em suas

pesquisas as fachadas dos edifícios localizados no Distrito Federal, tanto com revestimentos cerâmicos, quanto em argamassas.

No estudo de Santos (2018), com o tema de Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios, foi proposta uma metodologia que consistia na sistematização e na realização de inspeções para o mapeamento das anomalias, a partir do método de mensuração de degradação (MMD) e do cálculo do fator geral de danos (FGD). Dessa forma, a pesquisa tinha por objetivo estudar e mensurar a degradação das fachadas com revestimento em argamassa.

Piazzarollo (2019) desenvolveu um estudo sobre a evolução e a gravidade da degradação nas zonas das fachadas e relacionou com a idade, a orientação e o tipo de elemento construtivo. A mensuração da degradação foi realizada pelo método de mensuração de danos e com isso foram obtidos os dados para análise da degradação. Também foi realizado pela equipe de pesquisa o estudo dos impactos dos fatores de degradação na vida útil das fachadas, no qual Souza (2019), propôs modelos de estimativa de vida útil que ponderassem sobre a influência dos condicionantes de degradação nos revestimentos cerâmicos.

Mota (2021) também realizou seu estudo focado na degradação das fachadas com revestimento em argamassa, analisando a iniciação e a propagação da degradação nas fachadas, analisando as diferentes zonas e orientações e como os mecanismos atuam nas duas fases. Para a obtenção dos dados foi utilizado o método de mensuração de degradação (MMD) e o cálculo dos índices de degradação.

Esta pesquisa busca contribuir para o estudo da degradação das fachadas e com isso, a proposta metodológica visa obter um indicador de degradação para as fachadas com revestimento em argamassa e dessa forma estabelecer uma relação entre a extensão da degradação das fachadas e a vida útil, analisando, com isso, a gravidade das anomalias identificadas. Com essa finalidade, são levantadas as principais anomalias, a partir das inspeções de campo e das informações da base de dados.

As inspeções de campo visam ampliar e consolidar uma base de dados mais apta aos estudos de degradação. Também se realizou uma quantificação da degradação, a

partir dos indicadores de degradação e uma análise estatística dos resultados para uma melhor definição do comportamento das amostras.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo Geral**

O objetivo geral dessa dissertação é propor um indicador de degradação para as fachadas com revestimento em argamassa a partir da proposição dos níveis de gravidade, da análise e mensuração das anomalias.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

O objetivo geral pode ser alcançado a partir dos seguintes objetivos específicos:

- Levantar as anomalias de forma sistêmica por meio da análise da base de dados e das inspeções de campo, ampliando o quantitativo das amostras para aplicação da metodologia;
- Identificar, classificar e quantificar as anomalias, a partir do método da mensuração da degradação, para aplicação nos cálculos dos indicadores;
- Avaliar a importância e o impacto das anomalias na degradação das fachadas a partir da realização de simulações;
- Propor os níveis de gravidade das anomalias para a aplicação do indicador do Fator Geral de Danos (FGD);
- Quantificar a distribuição dos indicadores de degradação, como o Fator de Danos (FD), o Fator Geral de Danos (FGD), o Fator de Danos Equivalente (*FD<sub>equi</sub>*) e o nível de gravidade;
- Analisar a gravidade da distribuição das anomalias de acordo com os indicadores de degradação, considerando como as variáveis a idade e a orientação das amostras;
- Definir a partir do indicador de degradação, a curva de degradação das fachadas com revestimento em argamassa e com isso obter a vida útil estimada que corresponde ao desempenho mínimo que pode ser atingido pela fachada.

## 1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A degradação das fachadas em argamassa pode ser identificada de forma mais direta por parte dos usuários, a partir da observação das manchas, fissuras e descolamentos que surgem com grande frequência nas fachadas sem ações de intervenções ou por erros de execução e materiais incorretos. Nesse estudo visa-se estabelecer o modelo de degradação para as fachadas com revestimento em argamassa a partir do estudo das edificações localizadas na região do Distrito Federal, sendo assim, o estudo está estruturado em capítulos, como pode ser observado na Figura 1.1.

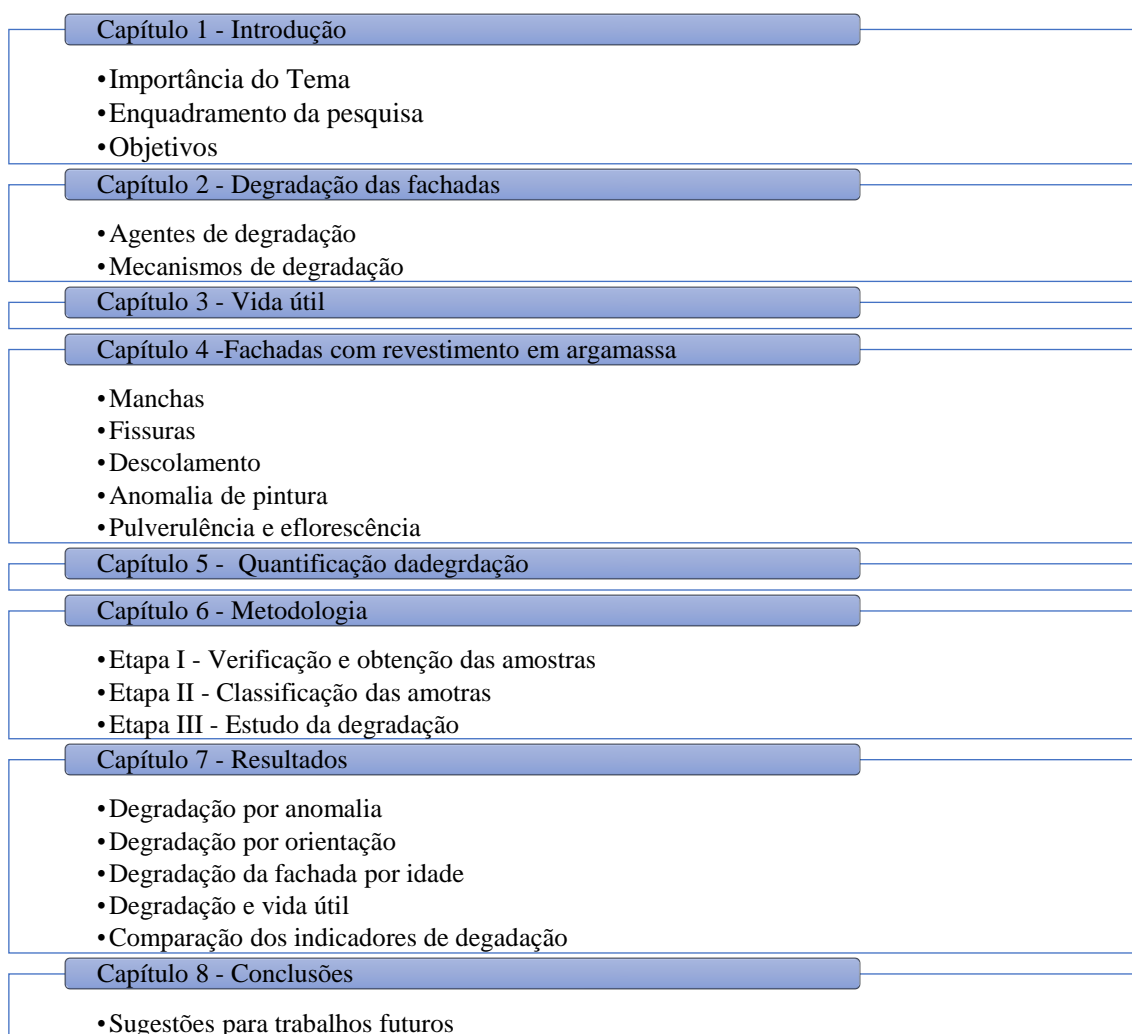


Figura 1.1: Estrutura de capítulos

## 2. DEGRADAÇÃO DAS FACHADAS

As fachadas têm uma função importante para o edifício, não só pelo aspecto visual, por garantir a estética da edificação, mas também por manter as condições térmicas, a resistência mecânica, a estabilidade e a proteção interna do edifício contra incêndio e ruído. Com isso, os revestimentos das fachadas servem como proteção para ação dos agentes de degradação e, junto com as coberturas, são os sistemas mais sujeitos a diferentes solicitações ambientais, como temperatura, precipitação, umidade e vento, com isso essas ações afetam fortemente o processo de degradação e envelhecimento dos componentes (Ferreira *et al.* 2021).

Elas podem apresentar diversos tipos de revestimentos, sendo os mais comuns, na região de Brasília-DF, os revestimentos cerâmicos e os em argamassa. O acabamento com pintura é muito utilizado nas construções brasileiras e isso está relacionado ao custo, pelo fato que as tintas possuem um valor mais econômico em relação a outros tipos de revestimento (Marques, 2013).

As fachadas das edificações devem atender a padrões específicos de conforto acústico, higrotérmico e segurança, conforme estabelecido na norma ABNT NBR 15575:2021. Isso torna seu projeto, construção e manutenção frequentemente complexos (Silva *et al.*, 2016). Além disso, dentre os elementos das edificações, as fachadas são as que mais necessitam de intervenções para manutenção ou melhorias (Lopes, 2005).

O processo de degradação das fachadas pode ser entendido como resultado do seu envelhecimento, das ações humanas e acidentes (Gaspar e Brito, 2009), mas a degradação é uma atividade complexa, tendo em vista que envolve diversos fatores e até mesmo a junção deles (Bauer e Souza, 2022), que influenciam na iniciação e na propagação da degradação.

A degradação é definida como um processo pelo qual uma ação causa a deterioração de um elemento ou de suas propriedades (ISO 15686 -11:2014). Por se tratar de um processo, a degradação acontece ao longo do tempo por ação dos agentes e dos mecanismos de degradação que causam modificações nos elementos e reduzem o seu desempenho.

A evolução das anomalias e da degradação de modo geral, depende não só da ação dos agentes, mas também da duração e a da sensibilidade à degradação (Bauer, 2016), como apresentado na Figura 2.1.

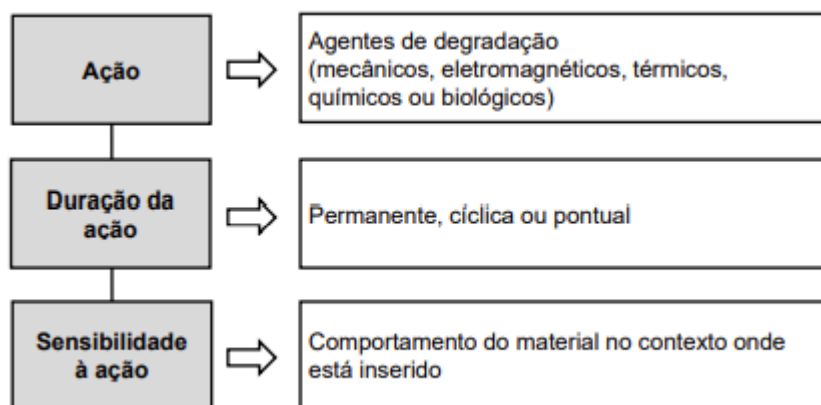


Figura 2.1: Fatores que influenciam na evolução das anomalias e da degradação.  
Fonte: Bauer (2016)

As ações são ocasionadas pelos agentes de degradação, que segundo a norma ISO 15686-2:2012, podem ser divididos em agentes mecânicos, eletromagnéticos, térmicos, químicos ou biológicos. A duração da ação tem relação com o tipo de esforço, se é permanente, como no caso do peso próprio; cíclica, como os causados por ações térmicas, pelos ciclos de umidificação e secagem; e por fim as ações pontuais, que geralmente são ocasionadas por acidentes e ações humanas. No caso da sensibilidade à ação, está relacionada com o material empregado na fachada. Entretanto, essa sensibilidade não está relacionada apenas com o material, mas também com o meio em que a fachada está inserida, ou seja, ao seu grau de proteção (Nascimento, 2016).

## 2.1 AGENTES DE DEGRADAÇÃO

As fachadas recebem diariamente diferentes ações tendo em vista que, por se tratar da envoltória da edificação, estão mais expostos aos agentes de degradação. A chuva, o vento e a radiação são exemplos de agentes de degradação, mas as suas ações podem variar de acordo com a localização, a orientação, a distância do mar e outros fatores que podem influenciar na vulnerabilidade da fachada (Barrelas, 2021). A ISO 15686-2:2012 apresenta alguns tipos de agentes de degradação de acordo com a sua natureza, como apresentado na Figura 2.2.

<b>Mecânicos</b> -Gravidade; -Cargas e deformações impostas ou restringidas; -Energia cinética; -Vibrações e ruídos.	<b>Térmicos</b> -Níveis extremos ou alterações bruscas de temperatura.	<b>Químicos</b> -Água e solventes; -Oxidantes; -Redutores; -Ácidos; -Bases; -Sais; -Agentes quimicamente neutros.	<b>Biológicos</b> -Vegetais; -Microbianos; -Animais; -Algas.
<b>Eletromagnéticos</b> -Radiação; -Eletricidade; -Magnetismo.			

Figura 2.2: Agentes de degradação.

Fonte: ISO 15686-2:2012

Dependendo da localização em que se encontra a fachada da edificação, ela pode ser atingida por agentes específicos. Os agentes são causados principalmente por ações do clima e do uso do edifício (Bauer e Souza, 2022). Os agentes térmicos, que são decorrentes das temperaturas elevadas ou pela variação das temperaturas, causam muitas anomalias, como as fissurações, decorrente dos esforços causados. A ação desses agentes pode ainda ser reforçada pela ação dos agentes químicos, como a chuva dirigida, que pode atingir a superfície da fachada fissurada, agravando a situação da degradação (Ramirez *et al.*, 2019).

A ação dos agentes varia de acordo com as especificidades de cada uma das fachadas. Ou seja, no caso de fachada que se encontram em regiões protegidas, recebendo assim, menor incidência de radiação solar terão a tendência de ter menor ocorrência de deformações de natureza térmica e menos fissuração (Bauer, Souza e Mota, 2021).

Os agentes de degradação também podem ser classificados de acordo com a origem, ou seja, se são oriundos de ações internas da edificação ou externas a ela. Na ISO 15686-1:2011 são apresentadas como origens externas as causadas por ações atmosféricas, como é o caso das chuvas, vento, dilatações térmicas, umidade, entre outras. Também podem ser decorrentes do solo, por exemplo, por ações de pressões da terra, água da superfície ou subterrânea.

No caso das origens internas, que estão relacionadas com ações de ocupação, uso e até mesmo como consequência de projeto, como cargas permanentes, infiltrações,

forças, entre outras. Na Figura 2.3 é possível observar o detalhamento dos agentes de degradação de acordo com a origem pela ISO 15686-1:2011.

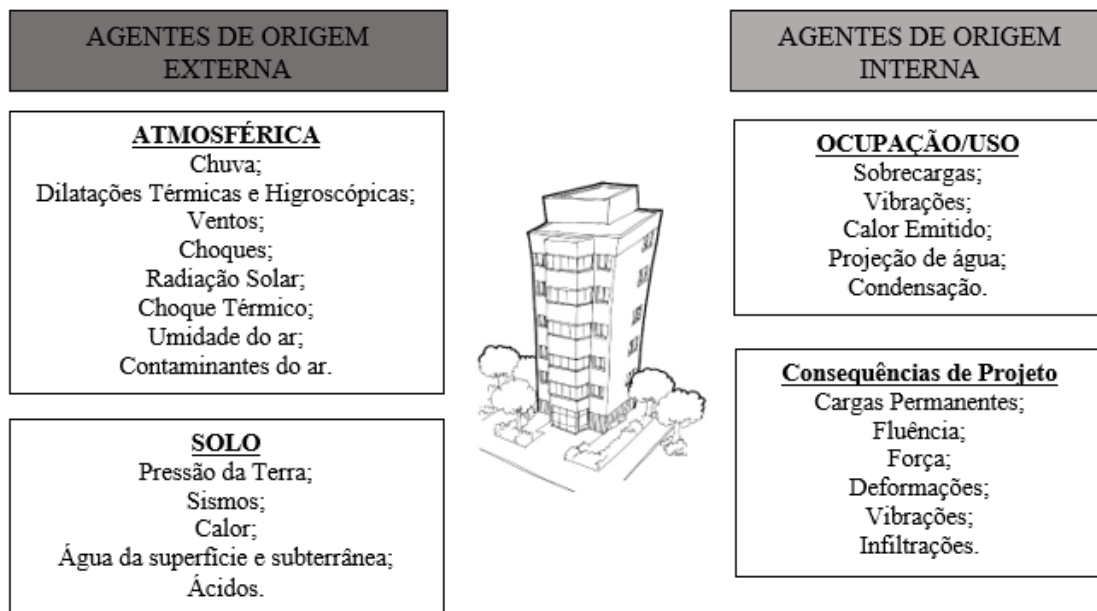


Figura 2.3: Agentes de degradação de acordo com a origem.

Fonte: ISO 15686-1:2011

A origem dos agentes pode ser externa à edificação, sejam elas provenientes de ações atmosféricas, como no caso das chuvas, dos ventos e da umidade, assim como de origem do solo, em decorrência da ação das águas subterrâneas ou superficiais que podem impactar na estrutura da edificação. Os agentes internos podem ser oriundos do uso e ocupação. As cargas permanentes definidas nos projetos podem ocasionar sobrecargas que causam concentração de esforços e danificam a estrutura, se não projetadas adequadamente.

## 2.2 MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO

Os mecanismos de degradação são desenvolvidos pela incidência dos agentes que diminuem o desempenho, ou seja, para ocorrer a degradação, o agente deve permitir as condições necessárias para o desenvolvimento dos mecanismos de degradação (Carretero-Ayuso *et al.*, 2021). Eles são definidos como uma sequência de modificações físicas ou químicas que causam alterações nas propriedades dos elementos ou do material quando exposto aos agentes de degradação (ASTM E-632, 1996). Os



mecanismos de degradação são específicos da natureza físico-química dos materiais, apresentando assim comportamento diferente dependendo da sua composição, sendo eles feitos de metais, cerâmicas, polímeros, entre outros (Bauer e Souza, 2022).

Os mecanismos de degradação causam alteração na propriedade dos elementos quando expostos aos agentes de degradação e muitas vezes são a explicação para as anomalias das edificações. Eles são capazes de se modificar com o tempo e agir de diferentes formas, de maneira associada ou não, assim como pode agir de forma simultânea ou individualizada (Zanoni, 2015). Para que aconteça as ações dos mecanismos é necessário que exista uma estrutura, onde a modificação ocorrerá, como poros, superfícies, camadas, membranas e microestruturas internas, sendo assim, os mecanismos dependem do grau de exposição das fachadas aos agentes de degradação e as características e propriedades do material (Bauer e Souza, 2022).

As características do projeto e da construção também influenciam nos mecanismos, pois estão diretamente relacionadas com as especificações dos materiais (Addessi *et al.*, 2020). Como observado na Figura 2.4, um mecanismo pode envolver mais de um agente de degradação e diversas alterações de propriedades, o que faz com que a complexidade e dificuldade de identificação aumente (Bauer, Souza e Mota, 2021). Na

Figura 2.4 é possível analisar a relação entre os agentes de degradação, os mecanismos e consequentemente, as anomalias.

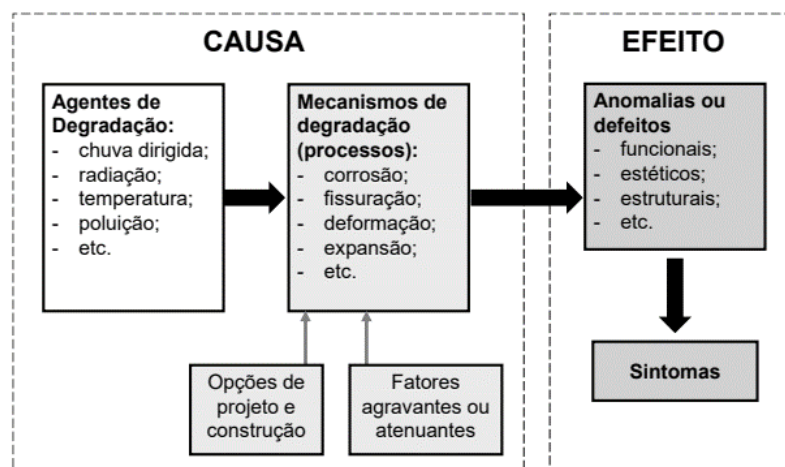


Figura 2.4: Agentes e mecanismos de degradação. Fonte: Adaptado Cóias (2009)

A intensidade dos agentes está muito relacionada com as variações climáticas, enquanto os mecanismos variam de acordo com a natureza, a estrutura e os materiais dos elementos que compõem a fachadas (Cóias, 2009). Sendo assim, a partir da combinação dos agentes, que favorecem as condições para o desenvolvimento das anomalias, vão surgindo as anomalias (Bauer e Souza, 2022).

No caso das anomalias de fissuras, por exemplo, elas também podem ser causadas pelo efeito dos mecanismos de concentração de esforços decorrentes, muitas vezes, da ação dos agentes de degradação, como a radiação e a temperatura, que causam esforços e deformações na estrutura. Opções de projeto e de construção, como materiais, tempo de cura e espessura das camadas também podem estar associados ao surgimento das fissuras. Fatores agravantes ou atenuantes, como no caso de fachadas mais abrigadas da radiação solar, apresentam menos deformações de origem térmica e com isso possibilitam menor ocorrência de fissuração, sendo um fator atenuante (Bauer, Souza e Mota, 2021). Sendo assim, cada uma das anomalias pode ser relacionada a um ou a combinação de mecanismos e agentes.

### 3. VIDA ÚTIL

Segundo a ABNT NBR 15575-1:2021, a vida útil é definida como o tempo em que os sistemas realizam as atividades para os quais foram projetados, com atendimento dos níveis de desempenho previsto, considerando a periodicidade e a execução correta das intervenções de manutenção. Ela difere da vida útil de projeto, pois esta é uma estimativa a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos pela norma, ela é uma estimativa teórica.

Pela ISO 15686-1:2011, a vida útil é entendida como o período após a construção durante o qual a instalação ou os seus componentes atendem aos requisitos de desempenho. A norma também traz a definição da vida útil estimada, que é o tempo em que se espera que a instalações e seus componentes apresentem um conjunto de condições específicas de uso, determinada a partir de dados de vida útil de referência.

Dessa forma, a norma ABNT NBR 15575-1:2021, estima que a vida útil de projeto para vedações verticais externas é em torno de no mínimo 40 anos e superior a 60 anos. Por outro lado, a vida útil de projeto estimada para as vedações internas é superior a 30 anos, menor do que a vedação externa, o que pode ser explicado por ser mais fácil a realização de ações de manutenções nesse sistema, quando comparado com as vedações externas. Os revestimentos de fachadas aderidos e não aderidos possuem uma VUP é maior ou igual a 30 anos e no mínimo 20 anos. No caso das pinturas, o tempo mínimo é de 8 anos e superior a 12 anos, como apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Vida útil de projeto dos elementos.

Sistema	VUP (anos)		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Revestimento de fachada aderido e não aderido	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Pintura	≥ 8	≥ 10	≥ 12

Fonte: ABNT NBR 15575-1:2021

A previsão correta da vida útil fornece uma melhor compreensão sobre os fenômenos de degradação dos elementos e permite relacionar as características desses elementos, como as condições de exposição, uso e manutenção, com o desempenho ao longo do tempo (Brito e Silva, 2020). O fim da vida útil dos revestimentos não está apenas relacionado ao fim da vida útil do material, mas também, ao estado limite da aparência estética da fachada (Gaspar e Brito, 2010). Sendo assim, o surgimento das manchas, das fissuras e das demais manifestações devem ser acompanhadas para verificar as alterações e a evolução da degradação (Silva, 2014).

O tempo de vida útil é relacionado com as ações que ocorrem na edificação, como limpezas, manutenções, reformas, ou também, por ações das intempéries, chuva dirigida, radiação, entre outras. São diversas as formas de estimar a vida útil e muitas vezes se torna difícil realizar a estimativa com uma precisão adequada devido à dificuldade de obter as informações necessárias, para o caso dos edifícios construídos, pois muitas vezes os responsáveis não possuem os dados sobre a data da construção, os materiais utilizados e as condições ambientais (Souza, 2019).

Devido à ação dos agentes de degradação ocorre a queda do desempenho da fachada e o surgimento das anomalias e quando não são tomadas medidas de intervenção o desempenho é reduzido a níveis não aceitáveis (Galvão et al, 2020). Como pode ser observado na Figura 3.1, o desempenho vai reduzindo ao longo do tempo, mas pode ser prolongado com as ações de manutenção, que fazem com que a vida útil seja maior do que a vida útil de projeto (Flores-Colen; De Brito; Freitas, 2008).

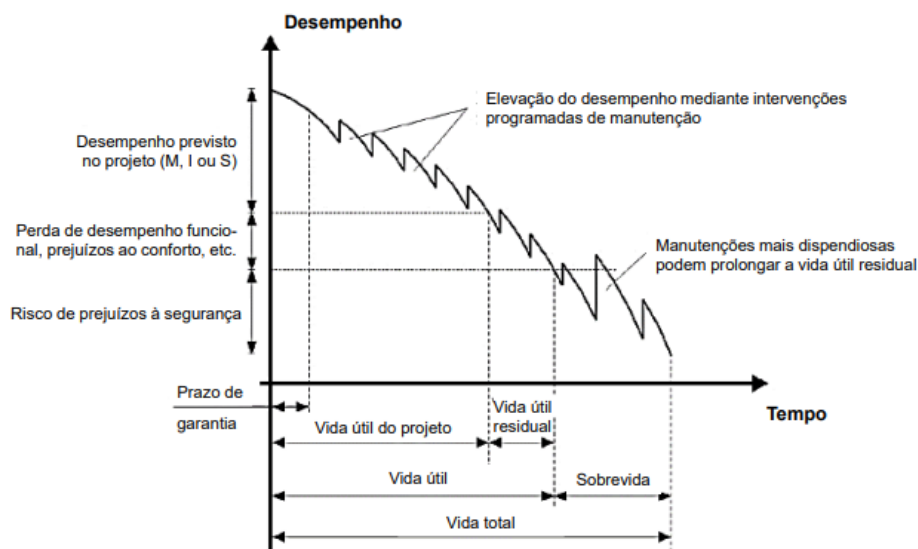


Figura 3.1: Desempenho ao longo do tempo e a vida útil. Fonte: ABNT NBR 15575-1:2008

Na norma ISO 15686-7:2017 é apresentada a metodologia para obtenção da vida útil a partir do método do fatorial, que é baseado em diversos parâmetros, como exposição ao intemperismo, construção, movimentação, ações de manutenção, entre outros parâmetros. Esse método é estabelecido como o principal enquadramento relativo à previsão da vida útil dos componentes dos edifícios e, com isso, aborda que o conjunto de fatores que representam determinados efeitos na durabilidade dos edifícios podem ser classificados em dois grupos: (i) durabilidade intrínseca do sistema (fatores A, B, C e G) e (ii) fatores de degradação (fatores D, E e F) (Silva e Prieto, 2021). A Equação 3.1, representa o cálculo estimado da vida útil pelo método dos fatores.

$$VUE = VUR \cdot A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E \cdot F \cdot G \quad (3.1)$$

O VUE corresponde a vida útil estimada e VUR, a vida útil de referência. Os parâmetros considerados são o A, que corresponde à qualidade de materiais; B, que é referente ao nível de projeto; C, relacionado com o nível de execução; D, com as condições internas; E, que é relacionado às condições externas; F, às ações de uso; e o G que se refere à frequência de manutenção.

O desempenho é entendido como sendo o comportamento de uso de uma edificação (ABNT NBR 15575-1:2021). Ele pode ser mensurado a partir de critérios e

especificações quantitativas para que possam ser determinados, de forma a atender aos requisitos dos usuários. Além disso, pode ser relacionado com as condições mínimas de habitabilidade, como conforto térmico, acústico, de higiene e segurança.

A norma ISO 15686-7:2017 também apresenta o grau de desempenho funcional que os edifícios ou os componentes devem ser classificados, baseado nos sintomas e na avaliação da deterioração. Os graus variam do grau 0, que corresponde aquele em que a amostra não apresenta nenhuma anomalia ou presença de danos que possa reduzir o seu desempenho, ao grau 4, que corresponde ao nível em que o componente apresenta danos graves que influenciam na funcionalidade pela qual foi projetado. No Quadro 3.1 são apresentados os graus e os sintomas relacionados.

Quadro 3.1: Grau de desempenho funcional pela norma ISO 15686-7:2017

<b>Grau de desempenho</b>	<b>Status do componente</b>
0	Sem Sintomas
1	Sintomas leves
2	Sintomas médios
3	Sintomas fortes
4	Totalmente inaceitável, incluindo colapso e mau funcionamento

Fonte: ISO 15686-7:2017

Da mesma forma, a norma ISO 15686-7:2017 apresenta o grau de consequência do desempenho funcional dos componentes a partir da análise do risco e da recomendação das ações necessárias. O risco deve ser avaliado e relatado como base para recomendações de ações, ele deve ser associado à probabilidade da ocorrência de falha do sistema ou dos componentes. A norma informa que os graus de consequências podem ser classificados a partir da análise da segurança, que são observados, por exemplo, se o componente apresenta a capacidade de carga adequada, ambiente, estética e economia, as quais são analisadas as ações de manutenção e reparação, por exemplo.

No Quadro 3.2 são apresentados os graus de consequências, que variam do grau 0, que não apresenta nenhuma consequência e apresenta um desempenho adequado até o grau 4, que é aquele que apresenta consequências catastróficas e conseqüentemente exige intervenções de reparos imediatos.

Quadro 3.2: Grau de consequência pela norma ISO 15686-7:2017

<b>Grau de consequência</b>	<b>Status do componente</b>
0	Sem consequências
1	Consequências menores
2	Consequências médias
3	Consequências sérias
4	Consequências catastróficas

Fonte: ISO 15686-7:2017

A norma ABNT NBR 15575-1:2021 também apresenta os requisitos mínimos dos usuários que as edificações devem ter, por exemplo:

- **Segurança:** sendo ela estrutural, contrafogo, uso e operação.
- **Habitabilidade:** que está relacionada com os requisitos de estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, funcionalidade, acessibilidade, entre outros.
- **Sustentabilidade:** que está relacionado com a durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental.

A durabilidade é definida como sendo a capacidade da edificação de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e com condições adequadas de uso e manutenção especificadas (ABNT NBR 15575 – 1:2021). A adoção de pequenas intervenções ou de atividades de limpeza aumentam os custos operacionais ao longo da vida do ativo, mas quando realizadas com a periodicidade adequada permitem manter o desempenho dos componentes das edificações em padrões elevados durante a maior parte da sua vida útil, promovendo assim a sua durabilidade (Ferreira *et al.*, 2021).

#### 4. FACHADAS EM REVESTIMENTO DE ARGAMASSA

As fachadas em argamassa podem ser constituídas por chapisco e emboço, no caso do revestimento em camada única ou por chapisco, emboço e reboco (ABNT NBR 13749:2013). Normalmente, em cima dessas camadas, é realizado o acabamento em pintura, como pode ser observado na Figura 4.1.

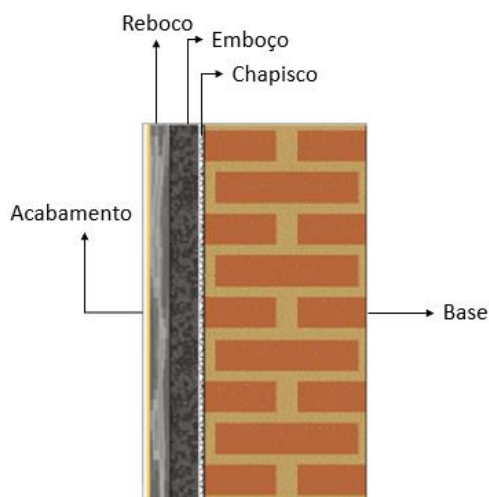


Figura 4.1: Revestimento em argamassa.  
Fonte: Adaptado de Antunes (2010)

Dessa forma, são diversas as anomalias e falhas que podem surgir nas fachadas das edificações, assim como as suas causas. Entre as causas mais comuns e que influenciam no surgimento da degradação estão a execução incorreta, materiais e projetos inadequados, fatores naturais, como a temperatura, a chuva, o sol, a falta de manutenção e o uso. As anomalias podem ser estruturais ou superficiais. Entre as anomalias estruturais pode-se citar o descolamento e as fissuras e entre as superficiais, estão as manchas, as anomalias de pintura, a pulverulência e a eflorescência (Lopes, 2023).

As anomalias presentes nas fachadas das edificações podem causar anomalias estéticas e funcionais (Flores-Colen, 2009). As estéticas afetam a aparência da fachada da edificação, não causando riscos à estrutura da edificação, como o caso das manchas. Por outro lado, as anomalias funcionais podem causar danos à estrutura do edifício e consequentemente comprometer a segurança dos usuários, como o caso das fissuras. As



anomalias estéticas também podem evoluir e originar as anomalias funcionais (Silva, 2014).

Muitas vezes o surgimento de uma anomalia não está relacionado apenas a uma causa, mas sim, a uma combinação de causas ou até mesmo como consequência de outra anomalia. Os processos de degradação causam redução do desempenho e sem a realização das intervenções de manutenção, os níveis dos danos podem-se agravar e afetar a qualidade do sistema (Silva, 2014).

No Quadro 4.1, é possível observar as anomalias mais recorrentes nas construções com revestimento em argamassa e pintura, localizados em Brasília-DF, e os principais agentes e mecanismos, como apresentado no estudo de Bauer *et al.* (2021). Como cada uma das edificações têm suas características particulares, o tipo de anomalia pode ser muito característico de uma determinada construção, da localização em que se encontra e da utilização. Observa-se também, que a incidência das anomalias está relacionada com os mecanismos, que podem surgir a partir da ação dos agentes principais e coadjuvantes.

Os agentes principais são aqueles que condicionam as anomalias, como os esforços, a ação da água, da radiação e do vento e os coadjuvantes contribuem para o surgimento das anomalias ao longo do tempo. A propagação trata-se da fase da evolução da anomalia e conseqüentemente da degradação, que pode ser decorrente das diferentes causas da iniciação da degradação, causada pelos mecanismos.

Quadro 4.1: Anomalias nas fachadas

<b>ANOMALIAS</b>	<b>MECANISMOS</b>	<b>AGENTES PRINCIPAIS</b>	<b>AGENTES COADJUVANTES</b>	<b>PROPAGAÇÃO</b>
<b>DESCOLAMENTO</b>	Deformação e assentamento da base (alvenaria)	Esforços e deformações da estrutura e da alvenaria (M), radiação solar (E), temperatura (T)	Chuva dirigida (Q), incidência de vento (secagem) (M)	Incrementos de deformação e fissuração na base (alvenaria)
	Cristalização de sais da alvenaria	Água (chuva dirigida) (Q), temperatura (secagem) (T), cristalização (Q)	Radiação solar (temperaturas) (E, T)	Ciclos de umidificação e secagem
	Retração da argamassa	Transporte de água (secagem) (Q), esforços de tração (M)	Radiação solar (temperaturas) (E, T), incidência de vento (secagem) (M)	Variações de temperatura (amplitude) decorrentes da radiação solar
<b>FISSURA</b>	Retração da argamassa	Transporte de água (secagem) (Q), esforços de tração (M)	Radiação solar (temperaturas) (E, T), incidência de vento (secagem) (M), chuva dirigida (Q)	Temperaturas decorrentes da radiação solar (secagem), ciclos de umidificação e secagem
	Deformação diferencial da base (alvenaria) e entre camadas de revestimento	Esforços e deformações da estrutura e da alvenaria (M), radiação solar (E), temperatura (T)	Chuva dirigida (Q)	Esforços de tração cíclicos originados pela restrição de deformações térmica ou mecânica

<b>ANOMALIAS</b>	<b>MECANISMOS</b>	<b>AGENTES PRINCIPAIS</b>	<b>AGENTES COADJUVANTES</b>	<b>PROPAGAÇÃO</b>
	Concentração de esforços	Esforços e deformações da estrutura e da alvenaria (M)	Radiação solar (temperaturas) (E, T)	Incrementos de deformação na base, umidificação e secagem
	Cristalização de sais da argamassa ou da alvenaria	Água (chuva, ascensional) (Q), temperatura (T), cristalização (Q)	Radiação solar (temperaturas) (E, T)	Ciclos de umidificação e secagem
<b>PULVERULÊNCIA</b>	Perda de coesão ou desagregação superficial dos constituintes da argamassa	Esforços internos de expansão na argamassa (M)	Chuva dirigida, umidade ascensional (Q), cristalização de sais (Q), micro-organismos (B)	Ciclos de umidificação e secagem, umidade ascensional
<b>EFLORESCÊNCIA</b>	Cristalização superficial de sais da argamassa ou da alvenaria	Sais (Q), água e transporte de água (Q), temperatura (secagem) (T), cristalização (Q)	Radiação solar (temperaturas) (E, T)	Ciclos de umidificação e secagem
	Molhagem não uniforme do revestimento	Chuva dirigida (Q)	Radiação solar (temperaturas) (E, T), chuva dirigida (Q)	Ciclos de umidificação e secagem
<b>MANCHA</b>	Desenvolvimento de micro-organismos biológicos	Micro-organismos (B), água (Q), pH (Q), temperatura (T), umidade relativa (Q), radiação solar (luz) (E)	Radiação solar (temperaturas) (E, T), chuva dirigida (Q)	Umidade, proliferação das colônias de micro-organismos, propagação para o interior da camada, fissuras

<b>ANOMALIAS</b>	<b>MECANISMOS</b>	<b>AGENTES PRINCIPAIS</b>	<b>AGENTES COADJUVANTES</b>	<b>PROPAGAÇÃO</b>
	Acúmulo de sujeiras	Incidência de vento (M), chuva dirigida (Q), chuva ácida (Q)	Temperaturas (secagem) (T), água (escorrimentos e desbotamentos) (Q), dissolução de compostos (Q)	Poluentes atmosféricos, ataque superficial da argamassa (ácidos, bases, agentes oxidantes e redutores)
<b>DESCOLAMENTO DA PINTURA</b>	Perda de aderência por degradação e enrijecimento da película	Radiação solar UV (E), temperatura (T)	Chuva dirigida (Q)	Incidência cumulativa da radiação solar com incremento da fissuração e descolamento
	Ingresso de água no substrato por fissuras e perda de aderência e pulverulência	Temperatura (secagem) (T), água (chuva dirigida, umidade) (Q)	Cristalização de sais (Q)	Ciclos de umidificação e secagem
<b>FISSURA DA PINTURA</b>	Degradação polimérica com enrijecimento da película	Radiação solar UV (E), temperatura (T)	Chuva dirigida (Q)	Incidência cumulativa da radiação solar, incremento da fissuração
	Deformação excessiva do substrato excedendo elasticidade da pintura	Esforços e deformações da estrutura (M), radiação solar (E), temperatura (T)	Chuva dirigida (Q)	Esforços de tração cíclicos pela restrição de deformações de natureza térmica/mecânica

<b>ANOMALIAS</b>	<b>MECANISMOS</b>	<b>AGENTES PRINCIPAIS</b>	<b>AGENTES COADJUVANTES</b>	<b>PROPAGAÇÃO</b>
<b>BOLHA NA PINTURA</b>	Infiltrações de água do substrato de argamassa	Água (Q), temperatura (secagem) (T)	Chuva dirigida (Q)	Baixa permeabilidade ao vapor d'água, ciclos de umidificação e secagem
	Base contaminada por sais	Sais (Q), água e transporte de água (Q), temperatura (secagem) (T), cristalização (Q)	Radiação solar (temperaturas) (E, T), chuva dirigida (Q), umidade ascensional (Q)	Ciclos de umidificação e secagem
Agentes: Mecânicos (M), Eletromagnéticos (E), Térmicos (T), Químicos (Q), Biológicos (B) (ISO 15686-1)				

Fonte: Adaptação Bauer *et al.* (2021)

As fissuras e as manchas são consideradas as anomalias com maior número de ocorrência nos revestimentos em argamassa, quando considerados os edifícios localizados na cidade de Brasília -DF (Mota, 2021). As anomalias com menor recorrência são os descolamentos e a eflorescência. Bauer, Souza e Mota (2021), também verificaram que as fissuras e as manchas são as anomalias mais frequentes nas fachadas dos edifícios com revestimento em argamassa, com estudos realizados na mesma região, como apresentado na Figura 4.2.

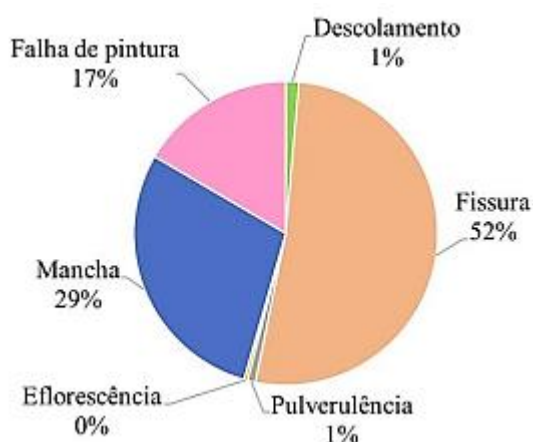


Figura 4.2: Exemplo de distribuições das anomalias nas fachadas em argamassa.

Fonte: Bauer, Souza e Mota (2021)

As fissuras podem ser decorrentes de vários agentes como esforços e deformações da estrutura e da alvenaria, chuva dirigida, radiação solar e a incidência de vento, que favorece na secagem. Com isso, os efeitos de molhagem e secagem, incrementam as ações dos esforços e com isso favorecem para a propagação da degradação (Flores-Colen et al., 2016).

As manchas, como apresentado no Quadro 4.1, são relacionadas a diversos agentes como a radiação solar, microrganismos, temperatura e radiação. Na propagação das manchas, considera-se a ação dos ciclos de molhagem, secagem e a presença de poluentes atmosféricos e os microrganismos (Bauer, Souza e Mota, 2021).

Entre as anomalias que mais afetam as fachadas em argamassa, pode-se citar as manchas, a fissuração e a perda de aderência (Gaspar, 2009). Santos (2018), também

identificou que as anomalias encontradas nas fachadas de argamassa são as manchas, as eflorescências, fissuras, tanto na argamassa, como na pintura, descolamento, pulverulência, descolamento da película de pintura e bolhas.

Os principais agentes são oriundos de esforços de diversas naturezas, como mecânicas, físicas, assim como, por associação deles, como a junção da chuva dirigida, da temperatura e da incidência de ventos (Bauer, Souza e Mota, 2021). Esses agentes causam diversas anomalias e apresenta-se na sequência uma descrição mais detalhada de cada uma dessas principais anomalias que afetam os revestimentos em argamassa de Brasília-DF, considerando o Quadro 4.1.

#### **4.1 MANCHAS**

As manchas são anomalias frequentes nas fachadas com revestimento em argamassa. Elas são caracterizadas por alterações nas cores, na tonalidade ou no brilho do revestimento (Gaspar, 2009). Essas alterações de tonalidade geralmente não evoluem com o tempo, sendo principalmente decorrentes de falhas na fase de execução e podem ser prevenidas na fase construtiva com um controle de qualidade adequado (Júnior, 2020). As manchas de umidade, de sujidade, da ação de micro-organismos são indicadores de degradação do revestimento (Júnior, 2020).

Como elas podem ser decorrentes da eflorescência, carbonatação, fissuração, colonização biológica, entre outras, essas ações afetam a estética das fachadas, mas em conjunto com a ação da água podem também causar a degradação física do revestimento (Flores-Colen et al., 2005). As manchas causadas pela umidade podem ser anomalias graves, pois podem evoluir para níveis altos de degradação, como a umidade por infiltração de água da chuva, e devem ser prevenidas na fase de projeto e com boas práticas de execução da obra (Socoloski, 2021).

As manchas de sujidade estão relacionadas com a deposição de partículas que são transportadas pelo vento, chuva e poeira. A adesão dessas partículas vai depender das características do revestimento (Poyastro, 2011). A sujidade também pode estar relacionada com a presença de micro-organismos, como fungos, musgos e algas, que causam manchas escuras nas fachadas (Quintela, 2006). A adesão e propagação dessas manchas são influenciadas pelas propriedades do revestimento e por questões climáticas

e biológicas. As manchas localizadas no topo das fachadas também são resultado da sujeidade, que por ação da gravidade as sujeiras depositadas no topo escorregam pela fachada.

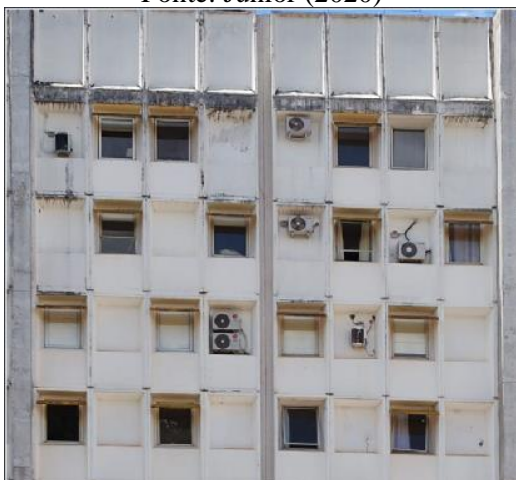
Os fantasmas também são manchas recorrentes nas fachadas e eles são resultado da umidade das paredes. Essas anomalias podem ser causadas por falta de isolamento térmico ou pelo uso de rebocos com espessura reduzida, que causam deposição de poeira diferencial formando os desenhos dos tijolos pela diferença de cor e manchas de sujeidade (Gaspar, 2009). Em algumas regiões, como em Brasília-DF, estudos apontam que as manchas são consideradas uma das anomalias mais relevantes nas fachadas com revestimento em argamassa, ficando atrás apenas das fissuras (Mota, 2021).



(a) Manchas escuras.  
Fonte: Júnior (2020)



(b) Manchas de fantasmas.  
Fonte: Gaspar (2002)



(c) Mancha de sujeidade no topo.  
Fonte: Banco de Dados Bauer (2023)



(d) Mancha de umidade.  
Fonte: Gaspar (2009)

Figura 4.3: Exemplos de manchas



## 4.2 FISSURAS

As fissuras são anomalias complexas de se identificar a causa pois são decorrentes de diversos fatores, por exemplo, retração por secagem. Os mecanismos que podem causar a fissuração são diversos, mas entre os principais pode-se citar a deformação entre a base e as camadas de revestimento, a concentração de esforços e a retração da argamassa (Bauer, Souza e Mota, 2021). Em decorrência dos diversos mecanismos que podem favorecer no surgimento das fissuras, são encontrados diferentes tipos de fissuras (Lopes, 2023). Cada um desses tipos apresenta um comportamento e conseqüentemente podem causar danos diferentes para o revestimento e para a estrutura da fachada.

Fissuras iniciais no revestimento frequentemente decorrem de execução incorreta. A quantidade de água na mistura é fundamental para definir o surgimento de fissuras no revestimento (Pereira, 2007). Formas mapeadas destas fissuras podem indicar problemas na dosagem da argamassa ou cura inadequada (Santos, 2018). Comum também são as fissuras próximas a aberturas, originadas pela concentração de esforços na interrupção da parede, gerando fissuras nos contornos dos vãos (Souza, 2016). Além disso, a incidência de fissuras no topo de paredes é frequente, relacionada à maior exposição a chuva, vento e radiação (Piazzarollo, 2019).

Lopes (2023) categorizou as fissuras em 17 tipos, incluindo fissuras nos vértices, generalizadas, devidas à deformação de vigas ou lajes, e fissuras de umidade, conforme ilustrado na Figura 4.4 e Figura 4.5. Esta classificação facilita a análise da gravidade e determinação de intervenções necessárias para restaurar o desempenho do revestimento. A severidade da fissuração varia conforme o tipo, podendo afetar a durabilidade do revestimento, inclusive em casos de fissuras menos visíveis (Gaspar, 2009).










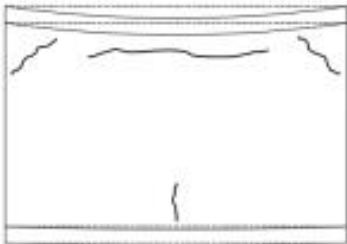
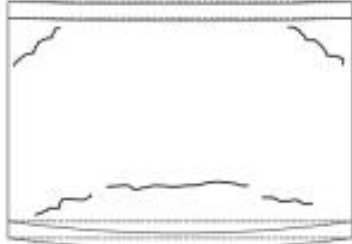

<b>FISSURAS</b>		
		
FA01 – Fissuras nos vértices de aberturas.	FA02 – Fissuras generalizadas em malhas grandes.	FA03 – Fissuras generalizadas em malhas finas.
		
FA04 - Fissuras por sarrafeamento precoce.	FA05 – Fissuras próximas aos vértices da sacada.	FA06 - Fissuras horizontais, abaixo de laje/viga (último pavimento).
		
FA07 – Fissuras na platibanda.	FA08 - Fissuras na interface entre laje/viga e alvenaria.	FA09 – Fissuras na interface entre pilar e alvenaria.
		
FA10 – Fissuras devido à deformação maior da viga/ laje superior.	FA11 – Fissuras devido à deformação maior da viga/laje inferior.	FA12 – Fissuras devido a recalque diferencial.

Figura 4.4: Tipos de Fissuras – Parte 1. Fonte: Lopes (2023)

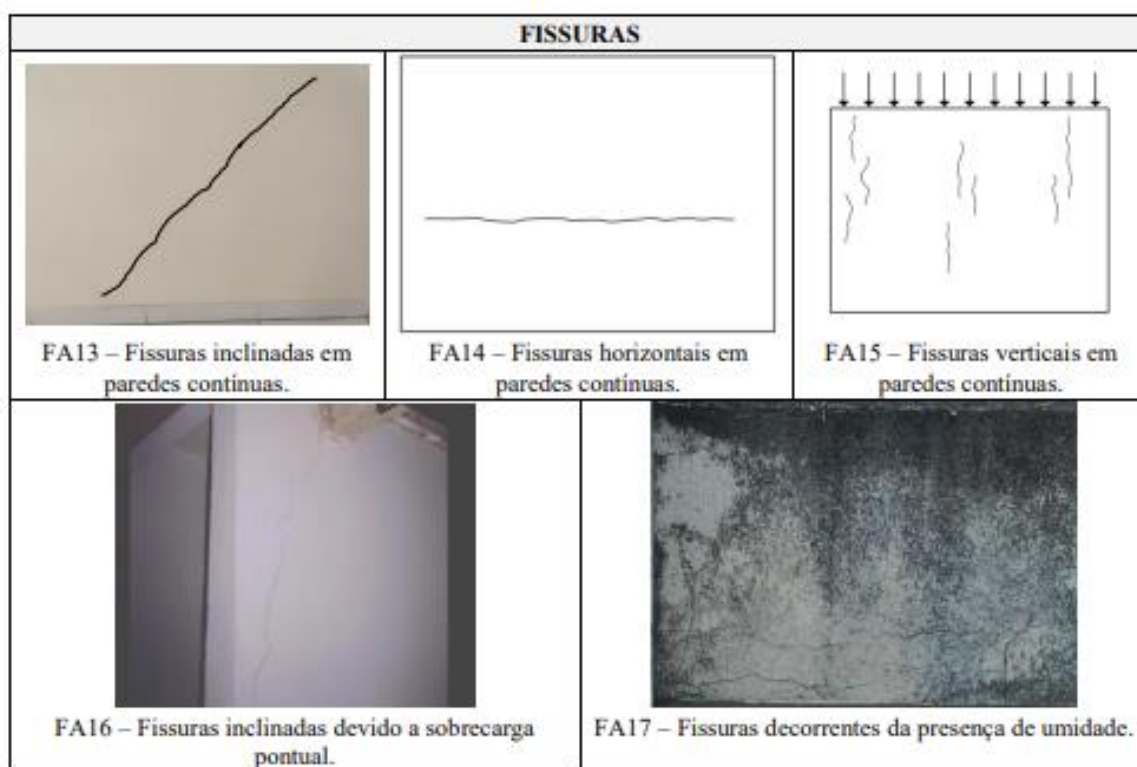


Figura 4.5: Tipos de fissuras – Parte 2. Fonte: Lopes (2023)

### 4.3 DESCOLAMENTO

Os descolamentos ocorrem quando as argamassas perdem a aderência do substrato e podem ser causadas por diversos fatores, como: falhas na execução, onde podem ocorrer imperfeições nos vínculos entre o revestimento e o substrato, materiais inadequados, movimentação da base, movimentações higrotérmica e, criptoflorescência que são causadas pela precipitação de sais solúveis que se acumulam entre as camadas e causam aumento o volume, causando o descolamento, entre outras (Socoloski, 2021).

A aderência é caracterizada pela ancoragem mecânica entre o substrato e a argamassa. Essa aderência é possível quando são utilizados materiais com rugosidade e porosidade adequada, além das condições de exposição e do processo de aplicação do revestimento (Carasek, 1996).

As variações nas espessuras dos revestimentos também podem causar movimentação superficial e somados com a natureza do substrato e as condições de exposição são fundamentais no surgimento das fissuras e dos descolamentos. (Pereira, 2007). As variações nas áreas dos substratos influenciam diretamente na rugosidade e

na resistência a tração entre o substrato e a pasta. Nas áreas maiores de substrato, a resistência de união à tração é menor e isso pode ser justificado pelo surgimento de tensões nas interfaces e que favorecem propagação de fraturas (Oliveira, 2022). Essas situações são mais frequentes em revestimentos com idades mais elevadas, que passaram por diversos ciclos de exposição.

A composição do revestimento também influencia diretamente no surgimento de descolamentos. Revestimentos aplicados no substrato sem chapisco somados a exposição severa causam fissuras e anomalias, verificando assim, menores valores de aderência. Dessa forma, evidencia-se a importância da aplicação do chapisco para regular a absorção de água e servir como ponte de aderência entre a base e o revestimento (Pereira, 2007).

Esse tipo de anomalia também pode ser resultante da quebra das ligações mecânicas entre as camadas e das solicitações pelas quais estão sujeitas excedem a resistência mecânica causando o descolamento (Campante, 2001). As solicitações mais frequentes nos revestimentos são as variações térmicas ao longo do dia e as mudanças bruscas como as decorrentes do choque térmico causado pelas chuvas (Fiorito, 1994). A redução dos volumes também causa o enfraquecimento da ligação entre a argamassa e a alvenaria (Pereira, 2008). Os esforços causados resultam no surgimento de fissuras e na consequente perda de aderência (Magalhães, 2002).

Socoloski (2021) considera os descolamentos como manifestações patológicas de nível máximo de gravidade, pois eles não desempenham mais as suas funções de proteção como sistema de vedação. Dessa forma, também podem causar riscos aos usuários por queda dos materiais (Silva, 2001). Na Figura 4.6 é possível observar diferentes casos de descolamentos.



(a) Descolamento da argamassa.  
Fonte: Júnior (2020)



(b) Descolamento da argamassa.  
Fonte: Gaspar (2009)



(c) Descolamento da argamassa.  
Fonte: Base de dados Bauer (2018)



(d) Descolamento da argamassa.  
Fonte: Base de dados Bauer (2018)

Figura 4.6: Exemplos de descolamento da argamassa.

#### 4.4 ANOMALIAS DE PINTURAS

As anomalias de pinturas são decorrentes da degradação da superfície do revestimento, elas podem ocorrer de duas formas: na interface do substrato com a película ou na película da pintura. Entre as anomalias mais frequentes, pode-se citar as fissuras, o descolamento e as bolhas. Elas são causadas pelo desgaste natural ou por erros de projeto ou de execução (Santos, 2018).

Esses danos podem ser resultado da ação dos agentes climáticos, da exposição e da localização, que influencia na durabilidade dos ligantes do revestimento em pintura (Breitbach, 2009). A variação térmica consequente da variação climática causa processos cíclicos na película de pintura e pode ocasionar as fissuras e a perda de aderência. (Chai, 2011). As anomalias também podem ser resultado das condições de

projeto, da aplicação, e do processo de secagem, os quais podem iniciar o processo de degradação, causar a perda de qualidade visual das pinturas e comprometer a função protetora das películas (Chai *et al.*, 2014).

As anomalias de pintura não são consideradas com alta gravidade, tendo em vista que geralmente isoladas não causam perda dos requisitos pelas quais foram projetadas (Santos, 2018). Na Figura 4.7 pode-se observar alguns casos de anomalias de pintura nas fachadas.



(a) Bolhas na pintura.  
Fonte: Júnior (2020)



(b) Descolamento da pintura.  
Fonte: Souza (2019)



(c) Descolamento da pintura.  
Fonte: Banco de dados Bauer (2023)



(d) Anomalia de pintura.  
Fonte: Banco de dados Bauer (2023)

Figura 4.7: Exemplos de anomalias de pintura

#### **4.5 PULVERULÊNCIA E EFLORESCÊNCIA**

A pulverulência corresponde à desagregação da argamassa, que perde o efeito ligante e se esfarela (Gaspar, 2009). Ela pode ocorrer devido aos esforços internos de expansão da argamassa associados com a presença de água nos poros e a cristalização dos sais que causam a desagregação superficial dos componentes da argamassa (Mota, 2021). Ao longo do processo de umidificação e secagem, que geram esforços na estrutura porosa, favorecem o aumento da desagregação pela umidade ascensional e causam a pulverulência do revestimento (Mota, 2021).

O processo de reparação das áreas danificadas pela pulverulência não consiste apenas na substituição da argamassa, mas também na intervenção das causas, como nos casos de infiltração, onde devem ser realizado processo de impermeabilização adequado, tendo em vista que essa anomalia é causada principalmente pela ascensão capilar (Santos, 2018).

Por outro lado, a eflorescência consiste no depósito de sais na superfície do revestimento originado pela migração de evaporação da água (Gaspar, 2009). Ela pode ser resultada das reações químicas e processos físicos que ocorrem na fase da cura, onde o hidróxido de cálcio reage com o dióxido de carbono e formam o carbonato de cálcio e água, que evapora para a atmosfera (Santos, 2018).

As eflorescências são geralmente classificadas como um tipo de mancha pela aparência de mancha branca. Entretanto quando são resultados da dissolução de sais da argamassa na superfície elas deveriam ser identificadas como anomalias de desagregação (Santos, 2018),

Dessa forma, devem ser realizadas as intervenções adequadas para devolver o desempenho adequado, tendo em vista que o aumento da porosidade pode deixar o revestimento menos resistentes aos esforços e causar fissuras e descolamentos (Santos, 2018), causando perda do desempenho estrutural.



(a) Pulverulência nas fachadas.  
Fonte: Santos (2018)



(b) Pulverulência nas fachadas.  
Fonte: Gaspar (2009)



(c) Eflorescência nas fachadas  
Fonte: Júnior (2020)



(d) Pulverulência nas fachadas.  
Fonte: Gaspar (2009)



(e) Pulverulência nas fachadas.  
Fonte: Banco de Dados Bauer (2023)



(f) Eflorescência nas fachadas.  
Fonte: Lopes (2023)

Figura 4.8: Exemplos de eflorescência e pulverulência nas fachadas.



## 5. QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO

Quantificar a degradação, é importante para conhecer a situação em que se encontra a edificação e dessa forma, torna-se a primeira etapa para a auxiliar na estimativa da vida útil (Mota, 2021). Muitos estudos (Silva, 2014; Souza, 2016; Santos, 2018; Souza, 2019; Piazzarollo, 2019; Mota, 2021) vêm sendo realizados para quantificar a degradação. Os pesquisadores do Projeto “Degradação, mensuração e modelação (DMM)” do PECC/UnB, desenvolveram uma base de dados com diferentes edificações relativos à degradação de edifícios e para quantificar essa degradação desenvolveram o Método de Mensuração de Degradação (MMD).

A metodologia do MMD é baseada em um conjunto de procedimentos de investigação e análise que permitem obter a quantificação dos indicadores de degradação. A metodologia pode ser aplicada para a inspeções de outras edificações. Para isso são definidas algumas etapas, como descrito por Bauer, Souza e Piazzarollo, (2020):

- classificação das anomalias que serão inspecionadas;
- padronização e definição das amostras, divisão das fachadas que vai ser inspecionada em amostras de áreas de 500 m<sup>2</sup>;
- a inspeção de campo;
- a levantamento e mapeamento de anomalias em escala para cada amostra;
- quantificação do grau de degradação por meio do cálculo dos indicadores de degradação.

Para a análise da degradação das fachadas e aplicação dos métodos de quantificação das anomalias, é fundamental a realização de uma inspeção de campo adequada. A inspeção é um mecanismo de avaliação do desempenho dos elementos que compõem a edificação fundamental para posteriormente se determinar “onde”, “como” e “quando” serão realizadas as atividades de intervenções Leite (2009). Dessa forma, quando as inspeções são realizadas em períodos pré-determinados, ela auxilia a manter o desempenho adequado da edificação e a avaliar o comportamento da degradação auxiliando na detecção de anomalias no início evitando a sua propagação e o aumento do custo de intervenção.

Para a realização das inspeções realizadas, deve-se dividir as fachadas em áreas. A divisão das amostras deve respeitar as juntas de movimentação vertical, as descontinuidades e as interrupções na fachada, como apresentado na Figura 5.1. Com a divisão das amostras é possível quantificar as áreas que apresentam anomalias, determinando assim os indicadores de degradação. Essa divisão das amostras visa evitar a análise de áreas totais extensas ou pequenas o que poderia prejudicar a representatividade dos dados, tendo em vista que os cálculos dos índices de degradação consideram a ponderação entre a área danificada e a área total da amostra.

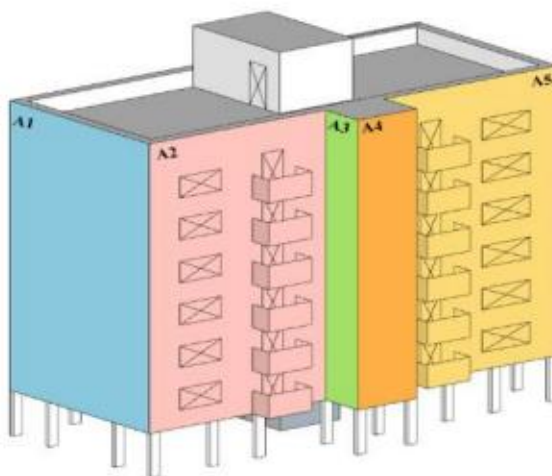


Figura 5.1: Divisão das Fachadas em amostras. Fonte: Piazzarollo (2019)

São diversas as metodologias elaboradas para a quantificação dos indicadores de degradação, tanto no cenário nacional como internacional. No Quadro 5.1 é possível observar o resumo dos indicadores de degradação aplicados nos estudos.

Quadro 5.1: Resumo dos Indicadores de Degradação

EQUAÇÃO	DESCRIÇÃO
$FGD = \frac{\sum A_{an(n)} \times G_{(n)} \times IR_{(n)}}{A_t \times \sum G_{máx}}$ <p>(Bauer, Souza e Piazzarollo, 2020; Bauer e Souza, 2022)</p>	<p><i>FGD</i>- Fator Geral de Degradação</p> <p><math>A_{an(n)}</math> - Área danificada por um grupo de anomalia n (m<sup>2</sup>)</p> <p><math>G_{(n)}</math> - Fator gravidade da anomalia n (0, 1, 2, 3, 4)</p> <p><math>IR_{(n)}</math> - Importância relativa de cada anomalia</p> <p><math>A_t</math> - Área total da amostra de fachada (m<sup>2</sup>)</p> <p><math>\sum G_{máx}</math>- Somatório das gravidades equivalente ao nível</p>

EQUAÇÃO	DESCRIÇÃO
	da pior condição; esse valor corresponde a 14 e é constante na equação;
$FD = \frac{\sum Ax}{A}$ <p>(Mota, 2021; Bauer, Souza e Mota, 2021)</p>	<p><math>FD</math> é o Fator de Danos;</p> <p><math>Ax</math> é o somatório da área degradada por determinada anomalia em m<sup>2</sup> (De.A, Fi.A, Pu.A, Ef.A, Ma.A, De.P, Fi.P e Bo.P); e</p> <p><math>A</math> é a área total da amostra em m<sup>2</sup>.</p>
$FD_{anomalia} = \frac{A_{D\ anomalia}}{A}$ <p>(Mota, 2021; Bauer, Souza e Mota, 2021; Bauer e Souza,2022)</p>	<p><math>FD_{anomalia}</math> é o Fator de Danos da Anomalia;</p> <p><math>A_{D\ anomalia}</math> é a área danificada por determinada anomalia em m<sup>2</sup>; e <math>A</math> é a área total da amostra em m<sup>2</sup>.</p>

Os índices de FGD e FD são utilizados como balizadores para o estudo da degradação, pois a partir desses índices é possível analisar o grau da degradação em que se encontra a fachada. O FD é geralmente utilizado com o objetivo de avaliar a frequência de ocorrência de danos na amostra e pode ser aplicada para analisar a incidência de cada um dos tipos de anomalias, por meio do  $FD_{anomalia}$ . O FGD consiste no cálculo da degradação a partir de uma análise ponderada, onde é considerado a área degradada e um peso referente aos diversos tipos de anomalias e o seu fator de gravidade. Para o revestimento cerâmico existe índices e modelos consolidados para avaliação da degradação, como apresentado no resumo do Quadro 5.1.

Na metodologia para quantificação da degradação das fachadas com revestimento cerâmico foram propostas condições de gravidade, como apresentado na Quadro 5.2, para o cálculo do fator geral de nado. O fator de gravidade varia de 1 a 4, dependendo da condição de degradação.

<b>Condições</b>	<b>G</b>	<b>Descrição</b>
A	1	Boas condições de serviço em que possíveis anomalias não prejudicam a funcionalidade e durabilidade do sistema. Não há risco para a segurança de usuários e a manutenção preventiva é sugerida.
B	2	Presença de anomalias localizadas que prejudicam a funcionalidade, mas não prejudicam a durabilidade e segurança dos usuários. A manutenção preditiva é sugerida para avaliar o desempenho do sistema.
C	3	Presença generalizada e simultânea de anomalias que prejudicam a funcionalidade, durabilidade e segurança do sistema. Procedimentos de manutenção corretiva são recomendados.
D	4	Incidência generalizada de anomalias que prejudicam a funcionalidade, segurança e durabilidade, apresentando risco de colapso ou ruína do sistema. Nessa condição, reabilitação ou restauração do sistema é necessária.

Quadro 5.2: Descrição das condições de degradação e o fator de gravidade.

Fonte: Bauer *et al.* (2020)

Com os dados do FGD é possível obter as curvas de degradação (Figura 5.2) a partir de diferentes amostras de fachadas com revestimento com placas cerâmicas, que representam a tendência de comportamento da degradação ao longo dos anos e podem ser obtidas a partir de uma regressão polinomial de segundo grau em função da idade da fachada (Souza, 2019). A partir dos dados dos indicadores de degradação, pode ser realizada uma análise do comportamento da degradação e com isso elencar os coeficientes dos níveis de gravidade.

Ressalta-se que no estudo de Santos (2018) foi proposto de forma preliminar um modelo de degradação das fachadas com revestimento em argamassa, mas a base de dados não estava com um quantitativo adequado para a elaboração de um modelo mais consolidado, dessa forma é um dos objetivos desse trabalho propor os níveis de gravidade para a classificação das amostras e consequentemente obter o Fator Geral de Degradação e a curva de degradação para as fachadas com revestimento em argamassa.

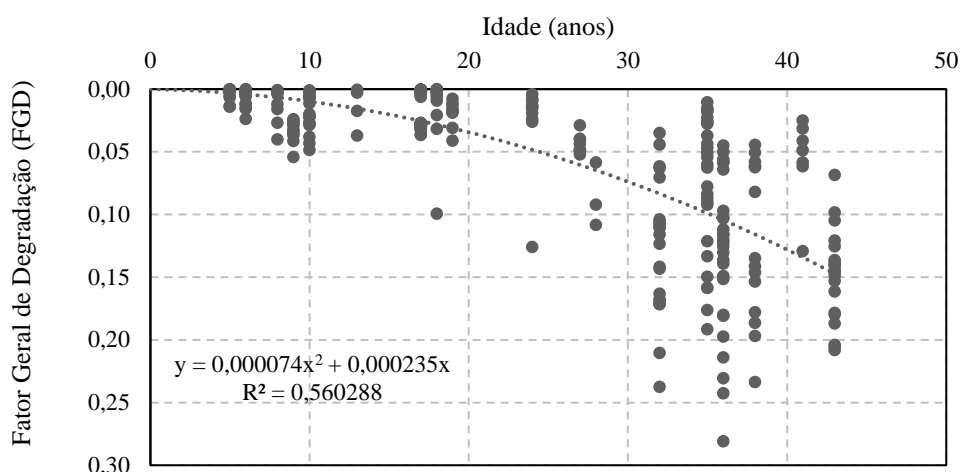


Figura 5.2: Exemplo de Curva de degradação. Fonte: Souza (2019)

### 5.1 QUANTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO POR GASPAR

Gaspar (2002) também analisou a disposição das anomalias pelas áreas afetadas, a idade das edificações, a incidência por áreas e o seu grau de gravidade. Para identificar a gravidade das edificações foi utilizada uma grelha de análise considerando quatro níveis de degradação, o qual o nível 1 correspondia a condições excelentes e o nível 4 a rotura de serviço e uma degradação generalizada. Para definição dos níveis, foram analisadas a extensão da deterioração e as ações de reparação e manutenção requerida para cada um dos níveis.

Com a análise da gravidade da degradação, Gaspar (2002) quantificou o nível de degradação global do edifício a partir de um índice numérico de conservação, que leva em consideração o grau de gravidade das anomalias e para cada nível de degradação definiu-se um fator multiplicativo, como pode ser observado no Quadro 5.3.

Quadro 5.3: Quantificação relativa das anomalias

Nível de degradação	Fator multiplicativo
Nível 1	1
Nível 2	2
Nível 3	3
Nível 4	4

Fonte: Adaptado Gaspar (2002)

Sendo assim, Gaspar (2002) definiu a equação simplificada que representa o nível de degradação global do edifício:

$$FDG = \frac{n_1 \times 1 + n_2 \times 2 + n_3 \times 3 + n_4 \times 4}{\Sigma n_1 + n_2 + n_3 + n_4} \quad \text{Equação 5.1}$$

Sendo,

$FDG$  é o nível de degradação global do edifício;

$n_i$  é o somatório das anomalias de nível  $i$  (de 1 a 4)

A partir das equações podem ser obtidas as curvas de degradação.

Gaspar (2009) calcula o indicador de extensão da degradação que é obtido pela razão entre o somatório das áreas das fachadas afetadas pelas anomalias detectadas ( $A_n$ ) e a área total da fachada ( $A$ ).

$$E = \frac{\Sigma A_n}{A} \quad \text{Equação 5.2}$$

Entre outros indicadores elencados no estudo de Gaspar (2009), cita-se o da área degradada ( $A_n$ ), que leva em consideração a ponderação das condições das anomalias.

$$A_w = \Sigma A_n \times k_n \quad \text{Equação 5.3}$$

Onde,

$A_w$  é o somatório ponderado da área de fachada afetada pelas anomalias em  $m^2$ ;

$A_n$  é a área da fachada afetada por uma anomalia  $n$ , em  $m^2$ ;

$k_n$  é a constante de ponderação das anomalias em função da condição,  $K = 0,1,2,3$  ou  $4$ .

Obtendo-se assim, o valor da extensão ponderada, que é dado por:

$$E_w = \frac{\Sigma(A_n \times k_n \times k_{a,n})}{A} \quad \text{Equação 5.4}$$

Onde,

$E_w$  é a extensão ponderada da degradação da fachada, expressa em porcentagem;

$A_n$  é a área da fachada afetada por uma anomalia  $n$ , em  $m^2$ ;

$k_n$  é a constante de ponderação das anomalias em função da condição,  $K = 0,1,2,3$  ou  $4$ ;

$k_{a,n}$  é a constante de ponderação do peso relativo das anomalias detectadas, em que  $k_{a,n} \in R^+$  ; caso não exista qualquer especificação, dever-se-á assumir  $k_{a,n} = 1$ ;

$A$  é a área da fachada.

Dessa forma, calcula a severidade da degradação da fachada ( $S$ ), que é dado por:

$$S = \frac{E_w}{k} \quad \text{Equação 5.5}$$

Em que,

$S$  é a severidade de degradação da fachada, normalizada, expressa em porcentagem;

$E_w$  é a extensão ponderada da degradação da fachada, expressa em porcentagem;

$k$  é a constante de ponderação igual ao nível de condição mais elevada da degradação de uma fachada de área  $A$ .

Como apresentado por Gaspar (2009), a partir dos valores da severidade da degradação ( $S$ ), da extensão ponderada da degradação e da avaliação física e visual, pode-se classificar as amostras em cinco níveis de condição, como apresentado no Quadro 5.4.

Quadro 5.4: Condições de degradação pelos indicadores

<b>Avaliação Física e visual</b>	<b><math>E_w</math></b>	<b><math>S</math></b>	<b>Condição</b>
Reboco completo e sem deterioração, superfície homogénea e uniforme. Sem fissuração visível ou fissuração $\leq 0,1$ mm. Cor uniforme e sem sujidade. Sem destacamento de elementos.	< 1%	< 1%	0
Superfície do reboco não totalmente uniforme devido a fissuração capilar (0,1 a 0,25 mm) ou mudanças no aprumo da superfície. Manchas ligeiras e de carácter pontual, associadas a sujidade e ao seu arrastamento pelo escorrimento de água pela fachada.	1 a 20%	1 a 4%	1
Superfície do reboco não uniforme com possibilidade de som oco ao toque por percussão, em zonas localizadas, sem quaisquer sinais de destacamento. Pequena fissuração (0,25 a 1,0 mm) em áreas localizadas. Mudanças de matiz na cor da superfície, eventual presença de microrganismos.	21 a 60%	5 a 14%	2
Destacamentos ou perfurações pontuais da argamassa. Som oco à percussão. Destacamentos apenas ao nível do soco. Fissuração facilmente visível a olho nu (1,0 a 2,0 mm). Manchas escuras de humidade ou de sujidade, muitas vezes com microrganismos ou algas.	61 a 120%	15 a 29%	3
Superfície do reboco incompleta devido a destacamentos e queda de partes da argamassa. Fissuração de grande abertura ou extensa ( $\geq 2$ mm). Manchas muito escuras, com provável presença de algas. Várias anomalias de condição 3 e 4 associadas.	> 120%	30 a 100%	4

Fonte: Adaptado de Gaspar (2009)



## 6. METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho será utilizada para estudar a degradação das fachadas com revestimento em argamassa, identificando indicadores de degradação e quantificando o impacto das anomalias. Sendo assim, ampliou-se a base de dados desenvolvida nos estudos de Macêdo (2017), Santos (2018) e Mota (2021), que trata sobre as fachadas com revestimento em argamassa. A base de dados das inspeções realizada nos edifícios localizados em Brasília-DF pertence ao Projeto “Degradação, mensuração e modelação (DMM)” do PECC/UnB.

A metodologia é dividida em 03 etapas: verificação dos dados; classificação das amostras; e o estudo da degradação. Tendo em vista a existência de uma extensa base de dados, realizou-se inicialmente a verificação das fachadas contempladas na base de dados, para em seguida realizar a ampliação dos dados e, por fim, definir as condições de degradação que melhor se descrevem para as fachadas com revestimento em argamassa, como apresentado na Figura 6.1.

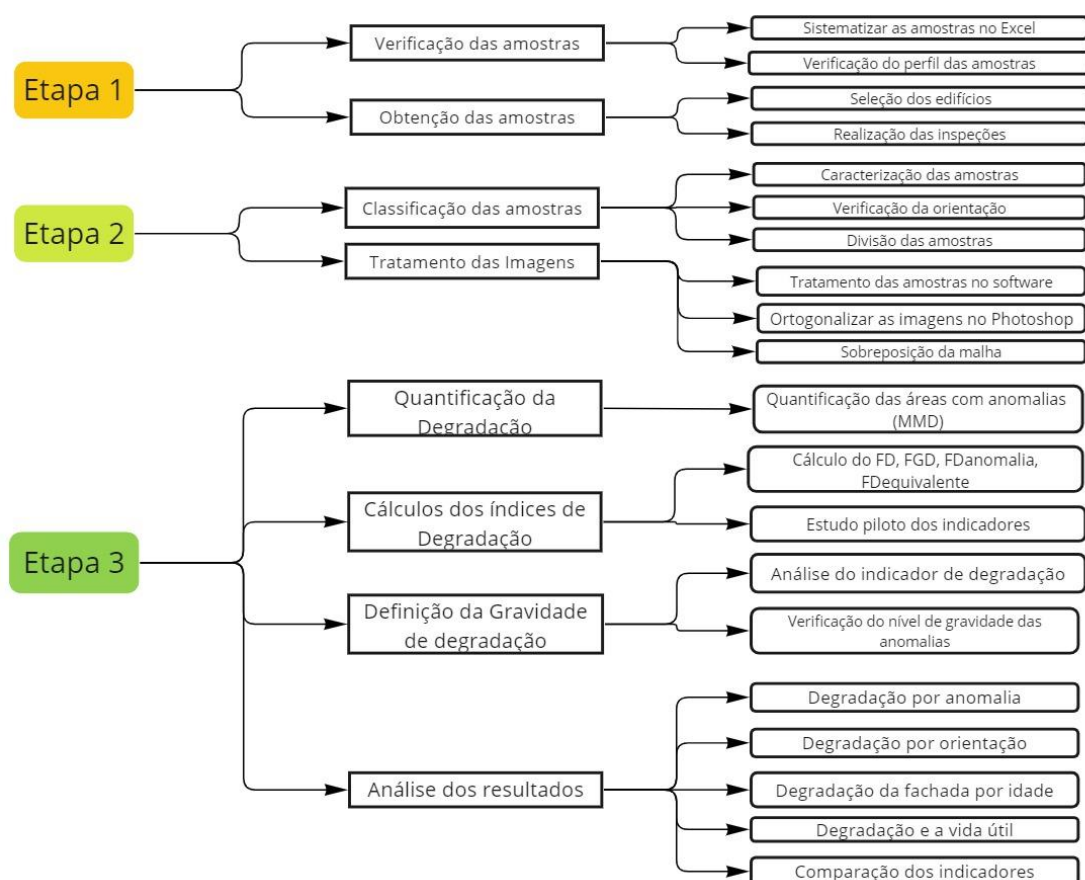


Figura 6.1: Fluxograma da metodologia

## 6.1 ETAPA I – VERIFICAÇÃO E OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

As fachadas que compõem a base de dados do Projeto “Degradação, mensuração e modelação (DMM)” do PECC/UnB, são de edifícios localizados na cidade de Brasília – DF e no entorno. O perfil das edificações de Brasília é muito característico pois a maioria dos edifícios possuem altura máxima de 6 (seis) ou 3 (três) pavimentos mais a altura do pilotis. Nas cidades localizadas no entorno de Brasília é mais comum as edificações com alturas mais elevadas, mas são poucos os edifícios nesse perfil que compõem a base de dados.

Ao total, a base de dados contava com 242 (duzentas e quarenta e duas) amostras de revestimento em argamassa e com o objetivo de ampliar a base de dados realizou-se inspeções de 4 (quatro) edifícios com fachadas de revestimento em argamassa, localizados em Brasília – DF, totalizando 297 (duzentas e noventa e sete) amostras e 17 edifícios, após a inspeção. Antes da inspeção de campo realizou-se a sistematização da base de dados, com a classificação e análise das amostras. A sistematização foi realizada no Excel e com ela foi possível direcionar a seleção dos edifícios que serão realizadas as inspeções.

As imagens registradas nas inspeções de campo foram obtidas por meio de uma Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely Piloted Aircraft – RPA*), também conhecida como *drone*. Trata-se de opção para auxiliar na realização das inspeções e que está sendo implementada para o estudo da degradação, visando a obtenção de imagens com alta resolução. De acordo com a configuração do RPA utilizado, as imagens foram capturadas com uma resolução de 5472 x 3648 pixels. Lopes (2022) destaca a complexidade das inspeções e mapeamentos de dados, enfatizando a importância do uso do RPA para otimizar o processo. O RPA reduz o tempo de inspeção, melhora a identificação e quantificação de anomalias nas amostras, e aumenta a precisão, contribuindo significativamente para o estudo da expansão da degradação.

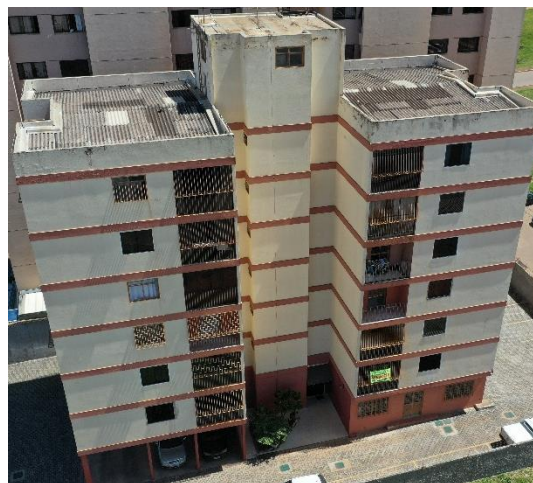
Após a análise e tratamento da base de dados, observou-se que a maioria dos prédios tinham idades variadas entre 21 anos e 60 anos. Portanto, foram selecionados quatro edifícios para inspeção, buscando-se equilibrar a necessidade de preencher lacunas de dados e a disponibilidade de edifícios com as características requeridas,

especificamente aqueles com revestimento em argamassa. A seleção incluiu um edifício de 11 anos, outro de 12 anos e dois com 50 anos de idade.

Os edifícios com 11 anos e 12 anos, foram escolhidos em uma região fora de Brasília-DF, mais especificamente na Região Administrativa de Ceilândia-DF, que fica a uma distância de aproximadamente 30 km do centro de Brasília. Por ser uma região fora do Plano Piloto, a estrutura dos prédios não segue o padrão de possuir apenas 6 andares ou 3 andares, sendo assim, o edifício estudado com idade de 12 anos possui 11 pavimentos, como pode ser observado na Figura 6.2 (a). O outro edifício inspecionado de 11 anos possui uma estrutura com 6 pavimentos, como apresentado na Figura 6.2 (b).



(a)



(b)

Figura 6.2: Edifícios mais novos inspecionados

As outras duas edificações analisadas nesse estudo seguiram o padrão comum das amostras da base de dados, localizadas em Brasília-DF e compostas por 6 pavimentos. como pode ser observado nas Figura 6.3.



Figura 6.3: Arquitetura dos edifícios inspecionados na Asa Sul

Com as novas inspeções realizadas, a distribuição das amostras ficou mais uniforme na base de dados, como pode ser observado na Figura 6.4.

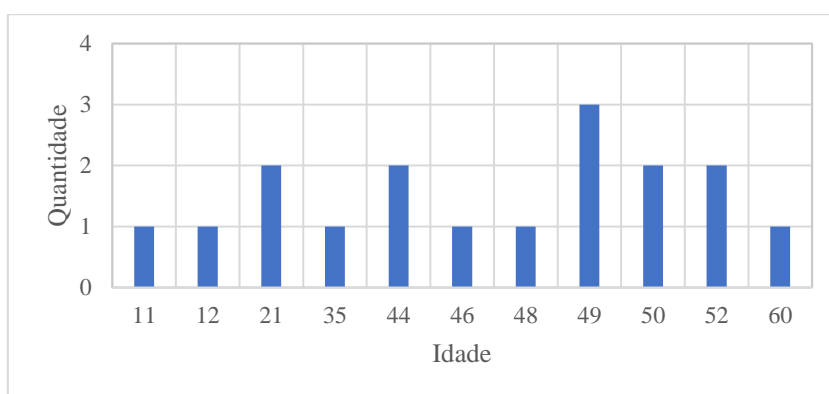


Figura 6.4: Distribuição da Base de dados após as inspeções

Analisando a distribuição, percebe-se que a maioria das amostras são posicionadas para o leste e oeste, representando mais de 80% da base de dados. As amostras das fachadas norte e sul, correspondem a menos de 15% das amostras, como pode ser observado na Figura 6.5.

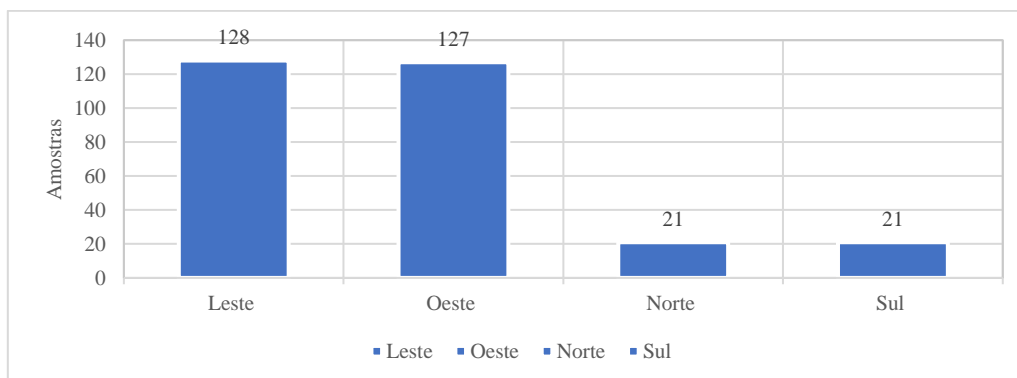


Figura 6.5: Distribuição das amostras por orientação

## 6.2 ETAPA II – CLASSIFICAÇÃO DAS AMOSTRAS

### 6.2.1 Caracterização das Amostras

As fachadas dos edifícios são divididas em amostras e cada uma das amostras tem a sua quantificação de anomalias de forma individualizada. Com isso, elas são divididas em dois grupos, as empenas e as prumadas. As empenas são as laterais dos edifícios e possuem menor dimensão em área, quando comparadas com as prumadas. As prumadas são as partes frontais das fachadas, com maior área.

As amostras devem ter áreas entre 50 e 500 m<sup>2</sup>, tendo em vista que áreas muito pequenas ou extensas podem atrapalhar na aplicação dos Método de mensuração de Degradação (MMD) por não serem representativas aos dados. Com isso, as prumadas foram divididas em áreas (Bauer, Souza e Mota, 2021). Na Figura 6.6 é possível observar um exemplo de divisão das amostras das fachadas.



Figura 6.6:Exemplo de divisão das amostras.

Fonte: Mota (2021)

A divisão das fachadas de forma adequada facilita para a realização da análise da degradação de maneira eficiente. Sendo assim, no Quadro 6.1 é possível observar as instruções necessárias que foram seguidas para a realização da divisão das amostras.

Quadro 6.1: Instruções para a divisão das amostras das fachadas

<b>Onde fazer a divisão</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Em juntas de movimentações verticais</li> <li>• Em descontinuidades.</li> <li>• Onde a fachada é interrompida por reentrâncias ou por uma quebra no plano por avanços.</li> </ul>
<b>Instruções para a divisão das amostras</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uma amostra não deve apresentar diferenças de orientação em sua área.</li> <li>• 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.</li> <li>• Elementos revestidos do prédio que se projetam para fora do plano das fachadas, como sacadas, devem ter os seus lados contabilizados em amostras.</li> </ul>

Fonte: Piazzarollo (2019)

As amostras também são classificadas com relação à orientação, em função dos azimutes. Com isso, são classificadas nas principais orientações, sejam elas, Norte, Sul, Leste e Oeste. A análise com relação à orientação também foi realizada nos estudos de Santos (2018) e Mota (2021). A análise da orientação das edificações ajuda a identificar padrões de degradação relacionados à exposição das fachadas, variando conforme cada caso.

Cada um dos intervalos dos azimutes corresponde a uma orientação:

- Norte entre 315° e 44°;
- Leste entre 45° e 134°;
- Sul entre 135° e 224°;
- Oeste entre 225° e 315°.

### 6.2.2 Tratamento das imagens

Uma vez obtidas as imagens, elas são submetidas a um processo de ortogonalização usando o *software Photoshop*. Esse processo é essencial para verticalizar as imagens, permitindo a quantificação precisa das áreas degradadas em cada amostra. Inicialmente as imagens obtidas por meio do drone são encaminhadas para o *software Agiosoft Metashape Pro* que é utilizado para o processamento de imagens e oferece uma solução de modelagem em 3D, baseada nas imagens estáticas.

As diversas fotos que compõem a fachada são inseridas no *software* e a partir do alinhamento de pontos e da triangulação fotogramétrica, o *software* produz o ortomosaico da fachada com uma imagem em 3D, como apresentado na Figura 6.7.



Figura 6.7: Imagem da fachada em 3D

Frequentemente, era preciso repetir o processamento dos dados no *software*, pois, devido ao peso das imagens e à extensão das fachadas, o processamento nem sempre ocorria de forma adequada, resultando em imagens incompletas. Essa situação é ilustrada na Figura 6.8. Assim, tornava-se necessário processar novamente as imagens ou dividi-las em amostras menores para obter resultados mais precisos.



Figura 6.8: Amostra obtida do *software* Agiosoft Metashape Pro

Após a composição das imagens no *software*, a amostra é encaminhada para o *software* Photoshop para ajustar, quando necessário, o alinhamento e a ortogonalização

da amostra para realização da análise. Na sequência, as amostras são enviadas para o *AutoCAD*, onde são aplicadas as malhas sobre as imagens para a quantificação das anomalias, como apresentado na Figura 6.9.

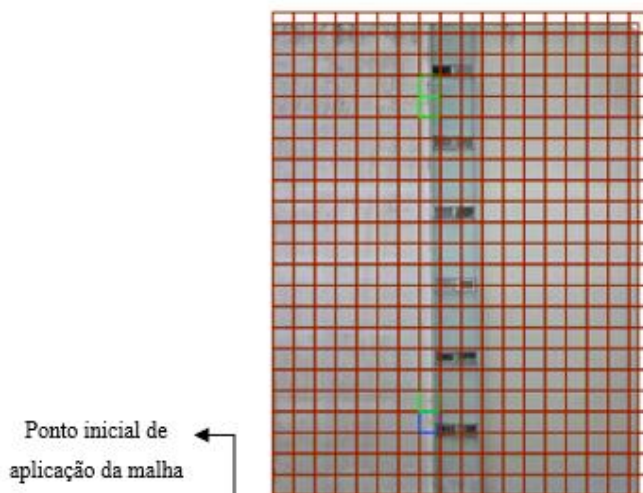


Figura 6.9: Aplicação da malha na amostra

### 6.3 ETAPA III – ESTUDO DA DEGRADAÇÃO

#### 6.3.1 Quantificação da degradação

Para realizar a quantificação é utilizado o MMD, que é o método de mensuração de degradação, descrito previamente na seção 5. Dessa maneira, é realizada a sobreposição de uma malha com as dimensões de 0,50 m x 0,50 m ao mapeamento da amostra em escala.

Na sequência são definidos os andares e as zonas das fachadas e com isso são quantificadas as degradações para cada amostra. A sobreposição da malha à fachada facilita a quantificação das áreas degradadas e a identificação das anomalias nas amostras. Com essa quantificação é possível calcular os indicadores de degradação e realizar a previsão da vida útil. Essa metodologia é bem consolidada na base de dados com revestimento cerâmico. Dessa forma, na Figura 6.10 é possível observar um exemplo da sobreposição da malha ao mapeamento.



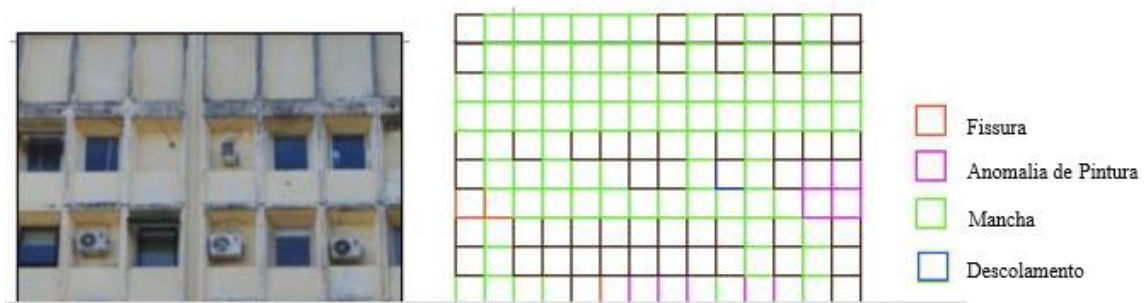


Figura 6.10: Exemplo de sobreposição da malha ao mapeamento das anomalias

Cada uma das anomalias foi indicada com uma cor para identificação da área danificada. As malhas contornadas em vermelho são as áreas com fissuras; em azul, descolamento; em verde, áreas com mancha; e em rosa, áreas com anomalia de pintura.

Após a identificação das áreas com anomalias no *AutoCAD*, os dados são inseridos na planilha de base de dados no Excel com o detalhamento da separação de cada uma das anomalias e as áreas em que estão localizadas.

### 6.3.2 Cálculo dos Indicadores de Degradação

Com a quantificação das áreas degradadas foi possível realizar a quantificação da degradação das amostras e para isso foram utilizados indicadores de degradação.

Inicialmente calculou-se o Fator de Danos (FD) que leva em consideração a área degradada e a área total da amostra. A quantificação das áreas é feita a partir das áreas de cada uma das anomalias, como pode ser observado na Equação 6.1.

$$FD = \frac{\sum A_x}{A} = \frac{A_{De.A} + A_{Fi.A} + A_{Ma.A} + A_{Pi.A} + A_{Eflv.A} + A_{Pulv.A}}{A} \quad (6.1)$$

Onde:

$FD$  é o Fator de Danos;

$A$  é a área total da amostra em  $m^2$ ;

$A_x$  é a área degradada por determinada anomalia em  $m^2$ , sendo:

De.A – área de descolamento;

Ma.A – área de mancha;

Fi.A – área de fissuração;

Pu. A – área de pulverulência;

Ef.A – área de eflorescência;

Pi.A – área de falha de pintura.

Como as áreas são calculadas por anomalia, também é realizada o cálculo do fator de danos por anomalia, como apresentado na Equação (6.2).

$$FD_{anomalia} = \frac{A_{D\ anomalia}}{A} \quad (6.2)$$

$FD_{anomalia}$  é o Fator de Danos da Anomalia;

$A_{D\ anomalia}$  é a área danificada por determinada anomalia em m<sup>2</sup>; e

$A$  é a área total da amostra em m<sup>2</sup>.

Com o objetivo de verificar o impacto de cada anomalia na degradação das amostras, foi proposto o fator de danos equivalente. Esse indicador considera o fator de danos multiplicado pelo índice de importância relativa das anomalias.

O  $FD_{equi}$  visa analisar a influência e o impacto de cada uma das anomalias na degradação da fachada e com isso torna-se um indicador mais específico do que o Fator de Dados, que só considera a área danificada pela anomalia com relação à área total.

Para o cálculo do  $FD_{equi}$  foram propostos novos índices de importância relativa ( $IR_{(n)}$ ) para as anomalias, tendo em vista que nesse estudo não foi considerada a divisão das anomalias de pinturas em três grupos, bolhas, fissuras e descolamento da pintura, como foi adotado nos estudos de Santos (2018) e Mota (2021), por exemplo. Nesse estudo foram consideradas todas as anomalias de pintura em um único grupo, sendo assim necessário o ajuste do índice de importância relativa. Para obtenção do índice de importância relativa, verifica-se inicialmente as possíveis causas para o surgimento das anomalias (Tabela 6.1), como realizado no estudo de Santos (2018).

Tabela 6.1: Classificação das causas de anomalias, de acordo com a etapa do ciclo de vida do revestimento

<b>C-A FALHAS DE PROJETO</b>	
C-A1	Especificação de materiais (traços, tipos de argamassa)
C-A2	Especificação da camada de chapisco
C-A3	Especificação de camadas (emboço, reboco, camada única, espessura)
C-A4	Especificação de técnicas de execução (telas de combate a fissuração)
C-A5	Juntas
C-A6	Pingadeiras (planos de vedação e aberturas)
C-A7	Encontro alvenaria estrutura ( pilar, alvenaria e aperto)
<b>C-B FALHAS HERDADAS (ORIUNDAS DO SUBSTRATO)</b>	
C-B1	Vergas e contravergas
C-B2	Deformações estruturais atuantes na alvenaria
C-B3	Umidade
<b>C-C FALHAS DE EXECUÇÃO</b>	
C-C1	Não cumprimento dos tempos de espera entre etapas
C-C2	Logística de produção e execução da argamassa (rodada em obra)
C-C3	Logística de produção e execução da argamassa (estabilizada)
C-C4	Logística de produção e execução da argamassa (industrializada)
C-C5	Tempo de validade para aplicação da argamassa
C-C6	Preparo do substrato e da base
C-C7	Aplicação em condições ambientais desfavoráveis
C-C8	Dificuldades de execução (cantos, requadramentos e extremidades)
C-C9	Espessuras inadequada por erros de prumo
C-C10	Sarrafeamento precoce da argamassa
C-C11	Cura
<b>C-D FALHAS DE USO E MANUTENÇÃO</b>	
C-D1	Adaptação e instalação de elementos não previstos no revestimento (ar cond.)
C-D2	Adaptação e instalação de elementos não previstos no revestimento (tela)
C-D3	Adaptação e instalação de elementos não previstos no revestimento (grade)
C-D4	Falta ou incorreta limpeza da fachada
C-D5	Manutenção de juntas e vedações (esquadrias)
C-D6	Manutenção inadequada da pintura
C-D7	Final da vida útil da pintura

Fonte: Santos (2018)

A partir da classificação das causas é realizada a matriz de correlação entre as possíveis causas e as anomalias estudadas. Nos casos de forte relação entre a causa e a anomalia, o item foi pontuado com 2; 1 para possíveis correlações e 0 para baixa ou nenhuma correlação, como apresentado na

Tabela 6.2: Matriz de correlação entre as causas prováveis/manifestações patológica

Causas	Anomalias estudadas					
	Desc.A	Fiss.A	Pulv.A	Eflo.A	Manc.A	Anom. Pint
C-A1	2	2	2	1	1	1
C-A2	2	1	0	0	0	0
C-A3	2	2	0	1	0	0
C-A4	1	2	0	0	0	0
C-A5	1	1	0	0	0	0
C-A6	0	0	1	1	2	1
C-A7	1	2	0	0	0	0
C-B1	0	2	0	0	0	0
C-B2	2	2	0	0	0	0
C-B3	0	0	2	2	2	2
C-C1	1	1	0	0	0	2
C-C2	1	2	0	0	0	0
C-C3	1	1	0	0	0	0
C-C4	1	1	0	0	0	0
C-C5	1	2	0	0	0	0
C-C6	2	1	0	0	0	0
C-C7	2	2	2	0	0	0
C-C8	1	1	0	0	0	0
C-C9	2	1	0	0	0	0
C-C10	0	2	0	0	0	0
C-C11	1	2	1	0	0	0
C-D1	0	0	0	1	1	0
C-D2	0	1	0	1	1	0
C-D3	0	0	0	1	1	0
C-D4	0	0	0	0	2	0
C-D5	0	0	2	2	2	1
C-D6	0	0	0	0	2	2
C-D7	0	0	2	2	2	2
Quant. de causas prováveis	17	20	7	9	10	7
Somatório dos índices	24	31	12	12	16	11

Legenda: 2 - Correlação elevada ou forte; 1 - possível correlação; 0 - correlação baixa ou nula

Fonte: Adaptado de Santos (2018)

Com os valores obtidos com a correlação das causas é possível calcular o  $I_c$ , pela seguinte equação:

$$I_c = \frac{\sum_{i=1}^N \mu_{ci}}{N_{..}} \quad (6.3)$$

Onde,

$I_C$  é o Indicador da importância relativa da causa de uma anomalia  $i$ ;

$N$  é a quantidade de etapas analisadas;

$\mu_{ci}$  é a média dos índices das causas de ocorrência de uma anomalia  $i$  em cada etapa analisada;

$\mu_c$  é a média dos valores de  $\mu_{ci}$ , considerando todas anomalias estudadas.

Sendo assim, na Tabela 6.3 é possível observar os resultados encontrados. O valor de CA, CB, CC e CD, que corresponde a soma da pontuação encontrada em cada grupo de causa (A, B, C e D) dividido pelo número total de causas do grupo, sendo 7 causas totais para o grupo A, 3 para o B, 11 para o C e 7 para o D. A partir desses valores são encontrados o  $\mu_{ci}$  e o  $\mu_c$ , para obtenção do  $I_c$  pela Equação 6.3.

Tabela 6.3: Obtenção do  $I_c$

Etapas	Anomalias					
	Desc.A	Fiss.A	Pulv.A	Eflo.A	Manc.A	Anom. Pint
<b>CA</b>	1,29	1,43	0,43	0,43	0,43	0,29
<b>CB</b>	0,67	1,33	0,67	0,67	0,67	0,67
<b>CC</b>	1,18	1,45	0,27	0,00	0,00	0,18
<b>CD</b>	0,00	0,14	0,57	1,00	1,57	0,71
$\sum \mu_{ci}$	3,13	4,36	1,94	2,10	2,67	1,85
$\sum \mu_c$	16,04					
<b>Ic</b>	0,20	0,27	0,12	0,13	0,17	0,12

Fonte: Adaptado de Santos (2018)

Na sequência é calculada a matriz de correlação entre as anomalias e a queda de desempenho. A pontuação 2 corresponde a forte correlação entre a anomalia e a queda de desempenho seja ela estrutural, estanqueidade ou estética. A pontuação 1 corresponde a uma possível correlação e por fim, a pontuação 0, baixa ou nenhuma correlação.

Tabela 6.4: Matriz de correlação das anomalias sobre a queda de desempenho

Anomalias	Queda de desempenho					
	Estrutural	Estanqueidade	Estética	$\sum d_{ki}$	$d_k$ total	Id
<b>Desc.A</b>	2	2	2	6	24	0,25
<b>Fiss.A</b>	2	2	1	5		0,21
<b>Pulv.A</b>	1	2	2	5		0,21
<b>Eflo.A</b>	0	1	2	3		0,13
<b>Manc.A</b>	0	0	2	2		0,08
<b>Anom. Pint</b>	0	1	2	3		0,13
Legenda:	2 - Correlação elevada ou forte; 1 - possível correlação; 0 - correlação baixa ou nula					

Fonte: Adaptado de Santos (2018)

Os índices  $d_{ki}$  e  $d_k$  total, corresponde ao índice da queda de desempenho de determinada anomalia  $i$  e a soma dos valores de  $d_{ki}$ , considerando todas anomalias estudadas, respectivamente. O valor do Id é obtido pela seguinte equação:

$$I_D = \frac{\sum_{i=1}^N d_{ki}}{N} \quad (6.4)$$

Onde,

$I_d$  é o Indicador da importância relativa da queda de desempenho da anomalia  $i$ ;

$N$  é a quantidade de etapas analisadas;

$d_{ki}$  é o índice da queda de desempenho de determinada anomalia  $i$ ;

$d_{k total}$  é a soma dos valores de  $d_{ki}$ , considerando todas anomalia estudadas.

Por fim, é calculado o índice de importância relativa a partir da multiplicação do  $I_c$  x  $I_d$ , como apresentado na Tabela 6.5.

Tabela 6.5: índice de importância relativa das anomalias

Etapas	Anomalias					
	Desc.A	Fiss.A	Pulv.A	Eflo.A	Manc.A	Anom. Pint
Ic	0,20	0,27	0,12	0,13	0,17	0,12
Id	0,25	0,21	0,21	0,13	0,08	0,13
Ic x Id	0,5	0,057	0,025	0,017	0,014	0,015
<b>Importância Relativa</b>	0,86	1	0,44	0,29	0,24	0,25

Fonte: Adaptado de Santos (2018)

Na Equação 6.5 é possível observar a fórmula utilizada no cálculo do  $FD_{equi}$ .

$$FD_{equi} = \frac{A_{an(n)} \times IR_{(n)}}{A} \quad (6.5)$$

Onde:

$FD_{equi}$  é o Fator de danos equivalente;

$A_{an(n)}$  é a área danificada por um grupo de anomalia n (m<sup>2</sup>);

$IR_{(n)}$  é a importância relativa de cada anomalia; e

A é a área da amostra.

Com o objetivo de avaliar a degradação total das amostras contempladas no banco de dados, verificou-se a necessidade de avaliar o nível de gravidade das amostras a partir da extensão e do risco das anomalias encontradas. Na seção seguinte é descrita de forma mais detalhada a metodologia adotada para a classificação dos índices.

A partir dos níveis de gravidade, do índice de gravidade relativa de cada anomalia e da área de extensão foi calculado o Fator Geral de Danos, que pode ser calculado pela Equação 6.6.

$$FGD = \frac{\sum A_{an(n)} \times G_{(n)} \times IR_{(n)}}{A_t \times \sum G_{máx}} \quad (6.6)$$

Onde:

$FGD$  - Fator Geral de Danos

$A_{an(n)}$ - Área danificada por um grupo de anomalia n (m<sup>2</sup>)

$G_{(n)}$ - Fator gravidade da anomalia n (1, 2, 3, 4);

$IR_{(n)}$ - Importância relativa de cada anomalia;

$A_t$  - Área total da amostra de fachada (m<sup>2</sup>); e

$\Sigma G_{m\acute{a}x}$  - Somatório das gravidades equivalente ao nível da pior condição.

### 6.3.3 Definição do nível de gravidade da degradação das amostras

Com o objetivo de propor um modelo de degradação para as fachadas com revestimento em argamassa, foram analisados os níveis de gravidade das amostras para a possível aplicação no cálculo do FGD, apresentado anteriormente na equação 6.6

Os níveis de gravidade das amostras foram definidos com base em múltiplas referências: a classificação de Gaspar (2009), conforme detalhado no Quadro 5.4; os níveis de desempenho e consequência da Norma ISO 15686-7:2017; e os estudos de Souza (2019) e Bauer et al. (2020). Realizou-se uma análise visual minuciosa das 297 amostras da base de dados, identificando a extensão e gravidade das anomalias. Esta análise foi correlacionada com o Fator de Danos (FD) calculado para cada anomalia. Os níveis de degradação propostos foram categorizados em quatro graus, variando do nível 1, sem degradação visível, até o nível 4, que indica degradação avançada e perda de desempenho, comprometendo as funções para as quais a amostra foi projetada.

Portanto, foi realizada a classificação das amostras analisando inicialmente as fissuras. No Quadro 6.2 também é possível observar os níveis e os critérios que devem ser considerados para a classificação em cada um deles e o intervalo de FD considerado.

Quadro 6.2: Nível de gravidade das fissuras

FISSURAS		
CRITÉRIOS	NÍVEL	INTERVALO DE FD
Fissuras superficiais, pouco visíveis, com pequena extensão. Não necessita de intervenção.	1	$0 < FD < 0,10$
Fissuras visíveis, com pouca extensão que necessitam de intervenção preditiva, como uma intervenção de leve manutenção (pintura) para devolver ao revestimento a funcionalidade adequada. Não apresenta risco.	2	$0,10 < FD < 0,30$



FISSURAS		
CRITÉRIOS	NÍVEL	INTERVALO DE FD
Fissuras distribuídas em grande parte da fachada, necessidade de intervenção corretiva para recuperação do revestimento da fachada, tendo em vista que ela não apresentou mais o desempenho, a funcionalidade pela qual foi projetada, pois pode se agravar para possíveis descolamento do revestimento e entrada de umidade, ocasionando riscos à estrutura.	3	$0,30 < FD < 0,50$
Fissuras com maior extensão e largura, distribuídas por quase toda a parte da fachada, necessidade de intervenção imediata para recuperação do revestimento da fachada, tendo em vista que ela não apresentou mais o desempenho e a funcionalidade pela qual foi projetada, pois pode se agravar para possíveis descolamento do revestimento e entrada de umidade, ocasionando riscos à estrutura.	4	$FD > 0,50$

No nível 1 são classificadas as amostras que apresentam fissuras finas, pouco visíveis, como mostra a Figura 6.11. O nível 2, Figura 6.12, corresponde aos casos em que as fissuras são mais visíveis e com uma extensão ainda reduzida na fachada. Necessitam de uma intervenção mais leve para evitar a sua propagação.



Figura 6.11: Fissuras classificadas com nível de gravidade 1



Figura 6.12: Fissuras classificadas com nível de gravidade 2

No caso do nível 3, Figura 6.13, as fissuras já estão distribuídas pela fachada e necessita de uma intervenção para devolver ao revestimento o desempenho adequado. O nível 4 representa as fissuras com maiores extensões e larguras ou nos casos em que toda a amostras encontra-se fissurada, como apresentado na Figura 6.14.



Figura 6.13: Fissuras classificadas com nível de gravidade 3



Figura 6.14: Fissuras classificadas com nível de gravidade 4

Da mesma forma foi realizada essa análise para as manchas. A análise nos intervalos resultou na obtenção dos valores do Fator de Danos (FD) de mancha para um dos níveis, conforme ilustrado no Quadro 6.3. No contexto das manchas, não se considerou o nível 4, visto que as anomalias de mancha afetam principalmente a estética da fachada, podendo causar desconforto aos usuários.

Por outro lado, as manchas não são consideradas anomalias que causam danos com gravidade elevada na fachada ou que podem danificá-la a ponto de necessitar de uma intervenção imediata e riscos aos usuários ou à estrutura.

Quadro 6.3: Nível de gravidade das manchas

MANCHA		
CRITÉRIOS	NÍVEL	INTERVALO DE FD
Cor uniforme, com sujidade em regiões localizadas, geralmente no topo, resultante de escoamento de água. Pequena extensão	1	$0 < FD < 0,20$
Manchas nas amostras que causam desconforto visual e que podem necessitar de uma intervenção planejada para devolver a estética da fachada. Comprometimento intermediário da funcionalidade em termos de aspecto	2	$0,20 < FD < 0,5$

MANCHA		
CRITÉRIOS	NÍVEL	INTERVALO DE FD
Manchas em grande parte das amostras que necessitam de intervenção corretiva, como tratamento para devolver ao revestimento a funcionalidade adequada.	3	FD > 0,5

O nível 1 corresponde àquele em que as amostras apresentam poucas manchas, geralmente localizadas no topo como resultado da sujidade, como observado na Figura 6.15. Tal nível não necessita de intervenção tendo em vista que não compromete o revestimento.



(a) (b)  
 Figura 6.15: Manchas com nível de gravidade 1  
 Fonte: Base de dados Bauer (2018)

O nível 2 corresponde aos casos em que as manchas são mais visíveis e ocupam uma área mais considerável das amostras, como exposto na Figura 6.16, nesse caso pode causar um desconforto visual aos usuários, podendo ser realizado um planejamento para realização da manutenção da pintura, mas não corresponde ao comprometimento total da sua funcionalidade.



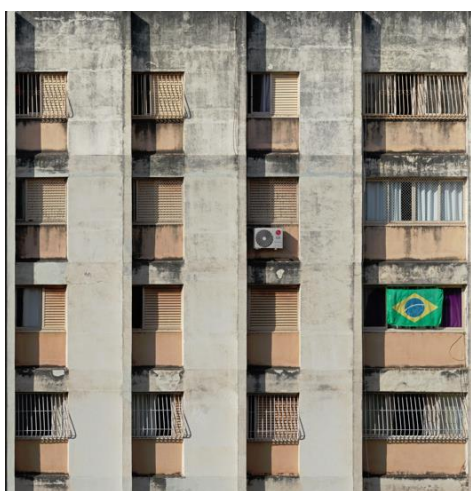
(a)



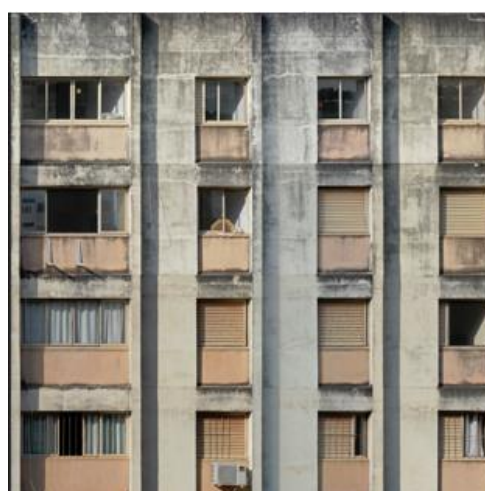
(b)

Figura 6.16: Manchas na fachada – Nível de gravidade 2.  
Fonte: Base de dados Bauer (2018)

Nas amostras que exibem grande parte de sua área coberta por manchas, correspondentes ao nível 3, constatou-se a necessidade de uma manutenção corretiva da pintura. Essa intervenção visa restabelecer o desempenho adequado do revestimento e melhorar o conforto estético para os usuários.



(a)



(b)

Figura 6.17: Manchas escuras – Nível de gravidade 3.  
Fonte: Base de dados Bauer (2018)

Na análise dos descolamentos, excluiu-se o nível 1 na classificação da gravidade das anomalias. Isso se deve à compreensão de que os descolamentos, mesmo quando de pequena extensão, podem causar danos graves à estrutura, uma vez que comprometem o desempenho adequado para o qual foram projetados.

Contudo, observou-se na base de dados que a maior parte das amostras não apresentava danos significativos relacionados a descolamentos. Aquelas que exibiam tais danos possuíam uma extensão relativamente pequena, resultando na classificação da maioria dessas amostras no nível 2 de degradação. As amostras enquadradas neste nível 2 demandam intervenção preventiva, com o intuito de impedir que áreas com pequenos descolamentos sofram agravamento ou expansão do dano, evitando assim o desenvolvimento de problemas mais sérios ou de maior extensão no futuro. A Figura 6.18, apresenta um caso de descolamento classificado como nível 2.



Figura 6.18: Descolamento da fachada – Nível de gravidade 2  
Fonte: Base de dados Bauer (2018)

O nível 3, como mostra a Figura 6.19, corresponde aos casos em que os descolamentos ocupam regiões localizadas e que necessitam de intervenção corretiva para devolver o desempenho e a funcionabilidade pela qual o revestimento foi projetado. O descolamento pode deixar a fachada exposta a ação e entrada de agentes e com isso causar danos à estrutura e risco aos usuários.



Figura 6.19: Descolamento da fachada – Nível de gravidade 3  
 Fonte: Júnior (2020)

O nível 4 indica uma perda de funcionalidade do revestimento, aumentando o risco de degradação da fachada devido à exposição a agentes externos. Neste estágio, é necessário realizar manutenção corretiva, focando em tratamentos que evitem novos descolamentos. As causas devem ser cuidadosamente avaliadas e corrigidas. Na Figura 6.20 é possível observar um exemplo de descolamento de nível 4.



Figura 6.20: Descolamento da fachada – Nível de gravidade 4  
 Fonte: Base de dados Bauer (2018)

Os níveis e os intervalos de FD de descolamento adotados estão apresentados no Quadro 6.4.

Quadro 6.4: Nível de gravidade dos descolamentos

DESCOLAMENTO		
CRITÉRIOS	NÍVEL	INTERVALO DE FD
Pequenos descolamentos em uma região pontual. Necessidade de uma intervenção preventiva para evitar propagação do dano e aumento da gravidade.	2	$0 < FD < 0,10$

DESCOLAMENTO		
CRITÉRIOS	NÍVEL	INTERVALO DE FD
Descolamento em regiões localizadas. Necessidade de uma intervenção corretiva para recuperar a integridade e a funcionalidade do revestimento da fachada.	3	$0,10 < FD < 0,30$
Descolamento com maior extensão, comprometimento grave da integridade da funcionalidade e do desempenho do revestimento e da fachada	4	$FD > 0,30$

Por fim, foi realizada a análise com as anomalias de pintura e assim como as manchas, não foi considerado o nível 4, tendo em vista que foi considerado que esse tipo de anomalia geralmente não causa danos que possam provocar a perda total do desempenho do revestimento e que necessitem de intervenção imediata para evitar riscos aos usuários ou à estrutura.

O nível 1 (Figura 6.21) corresponde ao nível em que as anomalias de pintura são leves e que não causam danos ao revestimento. Já o nível 2 (Figura 6.22) corresponde aos casos em que as anomalias ocupam uma extensão um pouco maior da área da amostra e que pode causar um leve desconforto aos usuários, por causa dos danos estéticos. Nesses casos pode ser realizado um planejamento para a realização das ações de manutenção.



(a)



(b)

Figura 6.21: Anomalias de pintura – Nível de gravidade 1  
Fonte: Base de dados Bauer (2018)



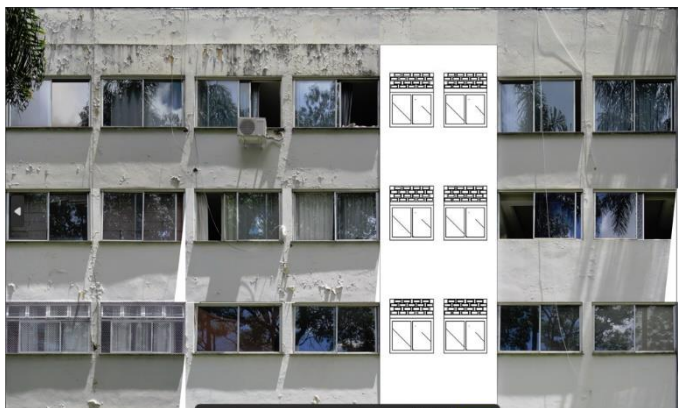


(a)

(b)

Figura 6.22: Anomalias de Pintura – Nível de Gravidade 2  
 Fonte: Base de dados Bauer (2018)

Por fim, nível 3 corresponde aos casos em que há descolamento da pintura e bolhas em grande parte das amostras, sendo necessária a realização de intervenção corretiva para devolver aos revestimentos o desempenho e a funcionalidade para qual foi projetado, como mostra-se na Figura 6.23.



(a)



(b)

Figura 6.23: Anomalia de pintura – Nível de gravidade 3  
 Fonte: Base de dados Bauer (2018)

No Quadro 6.5 é possível observar toda a descrição dos níveis e os intervalos de FD de anomalia de pintura relacionados a cada um deles.

Quadro 6.5: Nível de gravidade das anomalias de pintura

ANOMALIA DE PINTURA		
CRITÉRIOS	NÍVEL	INTERVALO DE FD
Anomalias com sintomas leves que não causam comprometimento no desempenho do revestimento	1	$0 < FD < 0,20$
Anomalias em grandes áreas que causam desconforto visual e que podem necessitar de uma intervenção planejada para devolver a estética da fachada. Não tem comprometimento funcional e desempenho insatisfatório do revestimento	2	$0,20 < FD < 0,5$
Descolamento da pintura e bolhas em grande parte das amostras que necessitam de intervenção corretivo, como a realização de uma nova pintura, para devolver ao revestimento a funcionalidade adequada.	3	$FD > 0,5$

#### 6.3.4 Estudo piloto dos indicadores de degradação

Com objetivo de validar os indicadores de degradação e avaliar a diferença comportamental de cada um, foi realizada uma simulação com diferentes cenários para verificar o fator de danos, o fator equivalente de danos e o fator geral de danos. Como são propostos novos níveis de gravidade para anomalias, a realização da simulação também auxilia na aferição desses níveis para o estudo da degradação. Além disso, a realização da simulação permite avaliar a importância relativa das anomalias e identificar seus impactos e a sua influência na degradação da fachada.

Conseqüentemente foi realizada uma simulação considerando uma fachada com uma área de 100 m<sup>2</sup>, sendo testados diversos cenários para verificar o impacto das anomalias. Ressalta-se que não se trata de uma fachada real, sendo apenas uma área adotada para a simulação. Foram gerados 20 cenários considerando, em cada um deles, uma variação na combinação das áreas das anomalias. Na Tabela 6.6, é possível verificar cada um dos cenários e a área de cada umas das anomalias para o cálculo dos indicadores de degradação e conseqüentemente a importância das anomalias.

Tabela 6.6: Variação das áreas de anomalias nos cenários.

Cenários	Área de Mancha (m <sup>2</sup> )	Área de fissura (m <sup>2</sup> )	Área de Descolamento (m <sup>2</sup> )	Área de Anomalia de Pintura (m <sup>2</sup> )
1	10	50	10	10
2	30	50	5	5
3	15	50	10	15
4	15	40	15	10
5	15	50	15	5
6	35	30	15	5
7	40	30	20	10
8	40	25	20	5
9	70	10	5	10
10	55	10	5	20
11	25	5	5	30
12	25	15	5	30
13	50	0	0	50
14	25	0	0	25
15	20	20	0	0
16	20	20	20	20
17	20	20	0	20
18	0	20	20	20
19	20	0	20	20
20	0	25	25	0

Pelos cenários apresentados na Tabela 6.6, observa-se que em algumas simulações não está incluída a área de determinadas anomalias. Isso foi realizado para tentar verificar o impacto das outras anomalias na degradação. Para analisar essa degradação calculou-se, em cada um dos cenários, o FD, o FD<sub>equi</sub> e o FGD. Na Figura 6.24, é possível também observar o comportamento dos indicadores em cada um dos cenários.

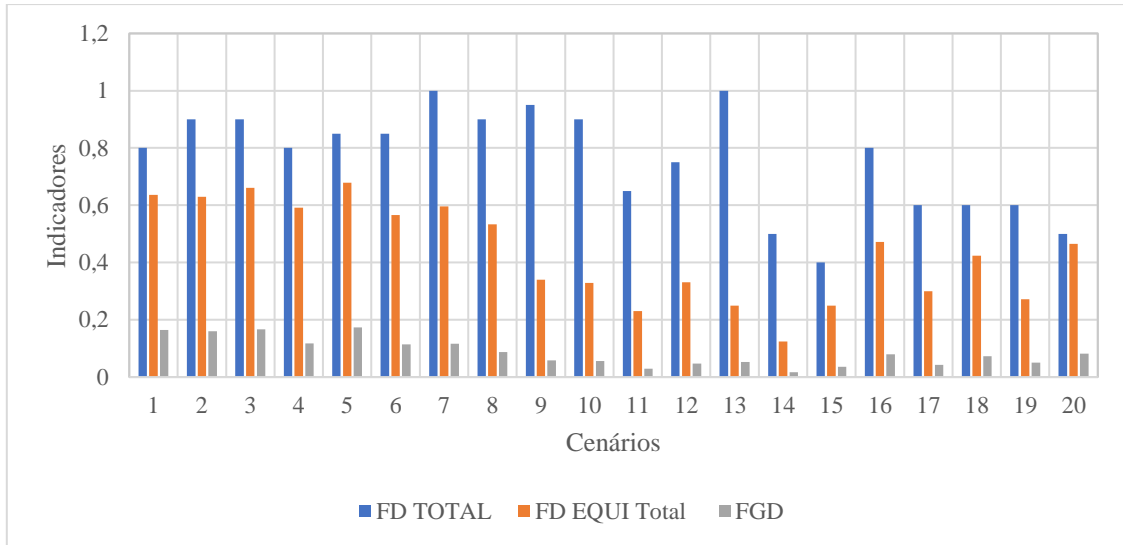


Figura 6.24: Comparação dos cenários

Pela Figura 6.24 percebe-se que o valor do maior Fator de Danos ocorre nos cenários 7 e 13. O cenário 7 apresenta 50% da amostra com as anomalias estruturais, descolamento e fissuras, e a outra metade danificada por anomalias superficiais, manchas e anomalias de pintura. No caso do cenário 13, este também corresponde à metade das amostras com mancha e a outra metade com anomalia de pintura.

A análise dos indicadores FGD e FD equivalente, que avaliam a relevância relativa das anomalias e os níveis de gravidade, revela que os cenários 3 e 5 apresentam os maiores valores de FD. Ambos os cenários exibem valores próximos de FGD e FD, o que se explica pela similaridade nas áreas afetadas: ambos apresentam 50% da amostra danificada por fissuras, com descolamentos correspondendo a 10% no cenário 3 e 15% no cenário 5. Além disso, o cenário 3 tem 30% da amostra com manchas e anomalias de pintura, enquanto o cenário 5 tem 20%.

Analisando a distribuição de cada uma das anomalias, como observado na Figura 6.25, percebe-se o pico no cenário 9, que apresenta o maior valor de FD de mancha. Com relação aos maiores valores de FD de fissuras destacam-se os valores dos cenários 1, 2, 3 e 5. Nesses cenários também se observa menores valores de FD mancha.

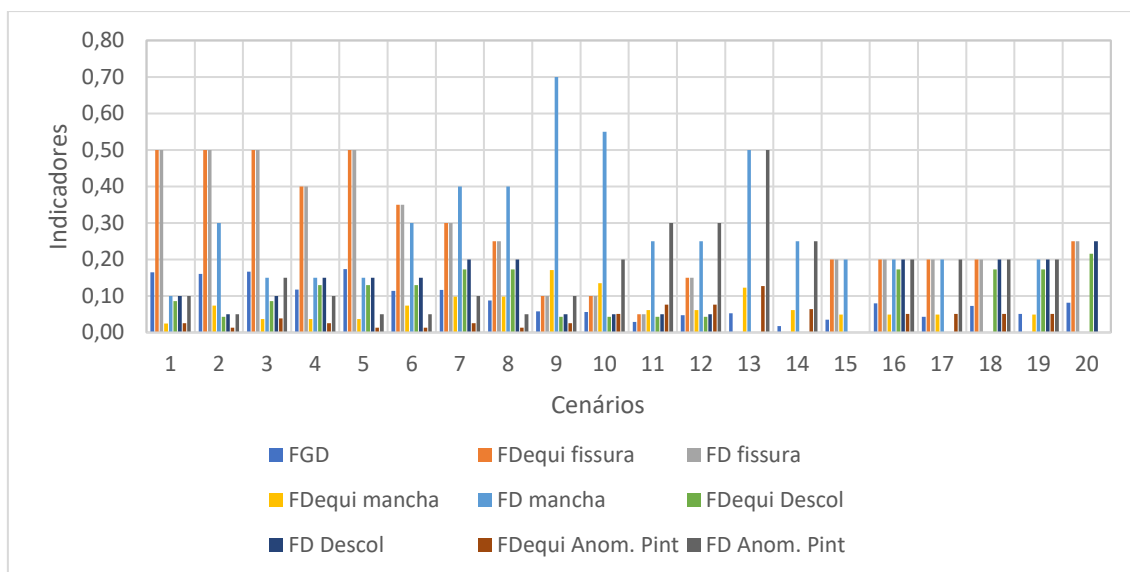


Figura 6.25: Distribuição dos fatores de danos por anomalia

Portanto, ao comparar os dados da Figura 6.24 com os da Figura 6.25, observa-se que, apesar da extensa área de manchas, abrangendo 70% das amostras, o valor do FGD foi de apenas 0,058. Este valor é significativamente menor em comparação ao cenário 1, onde 50% da amostra foi afetada por fissuras, resultando em um valor de FGD de 0,16.

No cenário 14 é possível observar metade da amostra danificada apenas por anomalias superficiais, que são elas: as manchas e as anomalias de pintura. Por outro lado, o cenário 20 apresenta a simulação de metade da área da fachada danificada apenas por anomalias estruturais e percebe-se que o comportamento dos indicadores foi bem diferente quando comparado com o cenário 14.

Na Figura 6.26 é possível observar os dados considerados para cálculo dos indicadores e as áreas de cada anomalia, para a simulação do cenário 14. Assim como, observa-se, na Figura 6.27, os dados do relacionados com o cenário 20.

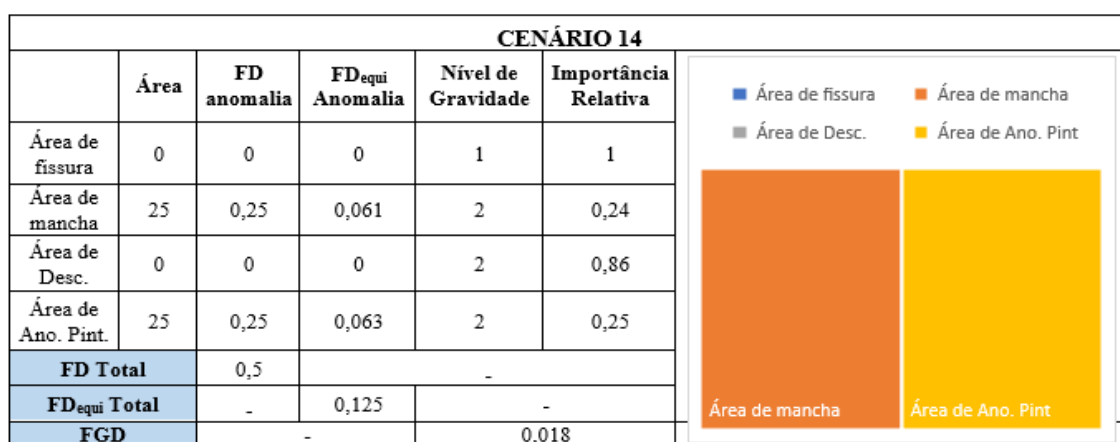


Figura 6.26: Cenário 14 – Simulação dos indicadores

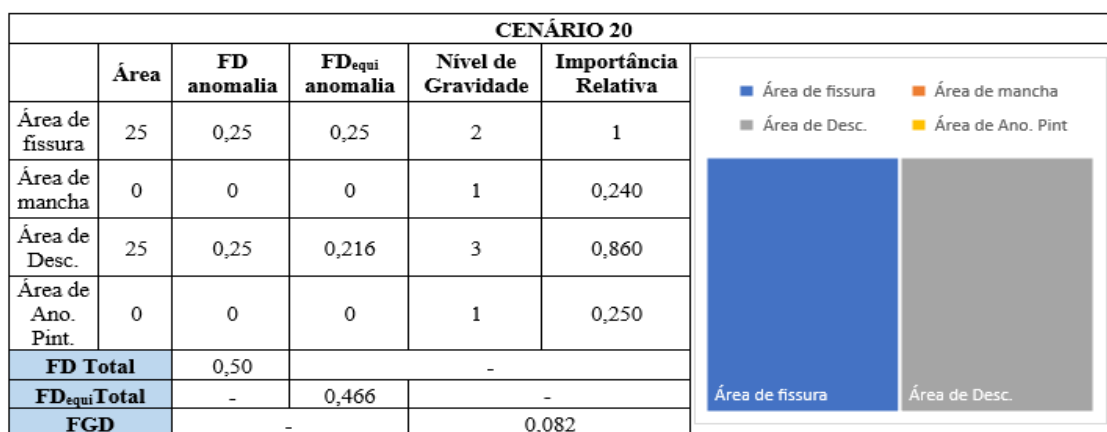


Figura 6.27: Cenário 20 – Simulação dos indicadores

A partir da análise da Figura 6.26 e Figura 6.27, percebe-se que para amostras com 50% de manchas e de anomalia de pintura, o  $FD_{equi}$  e o FGD são de 0,125 e 0,018, respectivamente. Tais valores são bem menores do que aqueles encontrados para o Cenário 20, que é de 0,466 para o  $FD_{equi}$  e de 0,082 para o FGD. Ressalta-se que mesmo com 100% da amostra danificada por anomalias superficiais, como apresentado no cenário 13, valores do  $FD_{equi}$  e do FGD permanecem inferiores aos observados no cenário 20. Dessa forma, mesmo com a combinação dos danos das anomalias superficiais em todas as amostras, os valores do  $FD_{equi}$  e do FGD não atingem altos valores como quando há a ocorrência de anomalias estruturais nas amostras, como fissuras e descolamento.

A simulação proposta é fundamental para avaliar essa importância das anomalias e validar os indicadores. Dessa forma, observou-se que os três índices calculados

respondem de maneira adequada ao estudo da degradação. O FD equivalente revela-se mais detalhado que o FD convencional, pois incorpora o índice de importância relativa da anomalia, aspecto crucial na análise da degradação, mas não considera os níveis de gravidade que são utilizados apenas no cálculo do FGD. Sendo assim, o FGD propõe essa análise mais detalhada da degradação.

Como comparação, realiza-se o cálculo do indicador de severidade apresentado por Gaspar (2009), que é obtido pela Equação 2.5, ou seja,  $S_w = \frac{\sum(A_n \times k_n \times k_{a,n})}{A \times \sum kmáx}$ . Desse modo, também se realizou o cálculo do  $S_w$  para comparar com o FGD proposto, como apresentado na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Comparativo entre o FGD proposto e o  $S_w$ .

Cenário	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_w$	0,147	0,140	0,148	0,146	0,170	0,110	0,133	0,123	0,056	0,043
FGD	0,165	0,160	0,167	0,118	0,174	0,114	0,117	0,087	0,058	0,056

Cenário	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$S_w$	0,025	0,041	0,031	0,012	0,031	0,094	0,038	0,088	0,069	0,055
FGD	0,029	0,047	0,053	0,018	0,035	0,079	0,043	0,073	0,051	0,082

A partir da Tabela 6.7 é possível obter o gráfico comparativo do FGD x  $S_w$  para melhor análise do comportamento dos dados, como observado na

Figura 6.28.

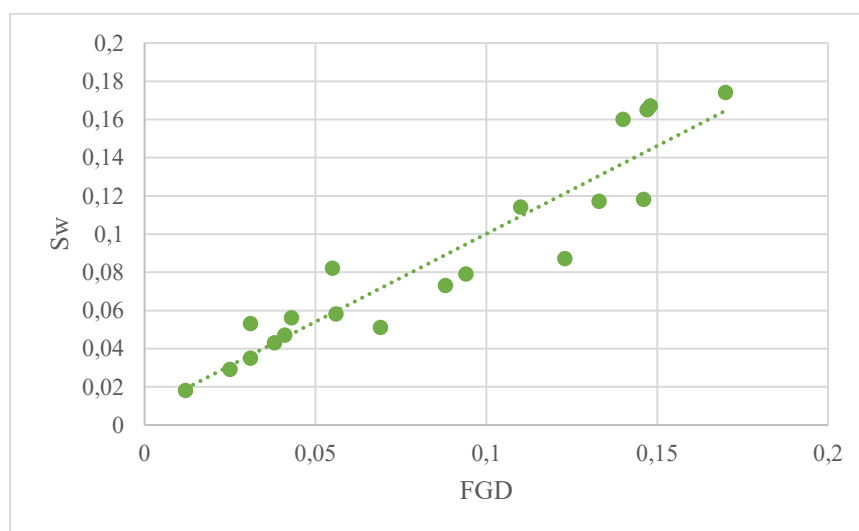


Figura 6.28: Comparativo entre o FGD proposto e o  $S_w$

Percebe-se que os valores encontrados utilizando o FGD proposto são similares aos obtidos pelo cálculo do  $S_w$ . Verifica-se que os níveis de gravidade indicados no cálculo do  $S_w$  são obtidos por uma análise visual das amostras. Por outro lado, na metodologia proposta nesse estudo é realizada uma relação entre a avaliação visual e o intervalo de valores FD para proposição de cada nível de gravidade, realizando-se assim uma análise não só qualitativa, mas também quantitativa. Dessa forma, observa-se a que a metodologia elaborada para o cálculo do FGD é mais precisa, quando comparada com a metodologia do  $S_w$ .

Com os cenários propostos também ficou notória a importância as anomalias estruturais na degradação. Nota-se que, mesmo em uma amostra completamente danificada por anomalias de manchas e pintura, os indicadores de FD equivalente e FGD não alcançam os valores observados em uma amostra com metade da área afetada pelas anomalias estruturas, fissuras e descolamentos.

Entende-se que anomalias superficiais, como manchas e anomalias de pintura, não provocam danos suficientes para uma perda total do desempenho da fachada, sendo frequentemente associadas apenas à perda da funcionalidade estética. Por outro lado, pequenas extensões de fissuras e descolamentos podem causar danos mais graves para a estrutura e para a funcionalidade da fachada. Sendo assim, observa-se a importância de identificar essas anomalias nas fachadas para avaliar a necessidade de intervenção de manutenção para evitar a sua propagação e o aumento dos danos.



## **7. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Os resultados da análise da degradação são detalhados considerando duas variáveis principais: a orientação solar das amostras e a sua idade. Primeiramente, a pesquisa foca na distribuição das anomalias. Posteriormente, cada uma dessas variáveis é examinada em relação ao indicador. Este procedimento visa destacar tendências observáveis na degradação.

- I. Degradação por tipo de anomalia – Nesta análise são verificadas as distribuições das anomalias que compõem a base de dados estuda e a sua ocorrência.
- II. Degradação por orientação – Nesta análise é verificada a variação da degradação a partir de cada uma das orientações das fachadas, sendo elas, norte, sul, leste e oeste.
- III. Degradação da fachada por idade – Esta análise consiste na avaliação da evolução da degradação com a idade, buscando os pontos pertinentes nessa observação.
- IV. Degradação e a vida útil – Nesta análise é analisada o valor do FGD corresponde à vida útil das fachadas.
- V. Comparação dos indicadores de degradação – Na análise é verificado o comportamento dos indicadores na representação da degradação das amostras.

### **7.1 DEGRADAÇÃO POR TIPO ANOMALIA**

A base de dados apresenta um total de 297 amostras, divididas em 17 edifícios localizados em diferentes regiões de Brasília-DF e entorno. A maioria dos edifícios apresentam uma tipologia similar, com 6 pavimentos mais o pilotis. Alguns edifícios apresentam 3 pavimentos e apenas um deles possui uma arquitetura mais alta com 11 pavimentos. As amostras apresentam um intervalo de idade entre 11 anos e 60 anos. Na Tabela 7.1 é possível observar a distribuição da área total e das áreas de anomalias.

Tabela 7.1: Distribuição das áreas de anomalias.

<b>Número de amostras</b>	297
<b>Área Total</b>	22.306,75 m <sup>2</sup>
<b>Área total degradada</b>	10.533,00 m <sup>2</sup>
<b>Área de fissuras</b>	4.015,50 m <sup>2</sup>
<b>Área de manchas</b>	4.805,75 m <sup>2</sup>
<b>Área de anomalia de pintura</b>	1.311,5 m <sup>2</sup>
<b>Área de pulverulência</b>	217,5 m <sup>2</sup>
<b>Área de eflorescência</b>	28,5 m <sup>2</sup>
<b>Área de descolamento</b>	154,25 m <sup>2</sup>

Pela análise, observou-se que as anomalias mais frequentes nas fachadas com revestimento em argamassa na região de Brasília – DF são as manchas e as fissuras. As manchas representam 46% do total de anomalias, e as fissuras, 38%. Na Figura 7.1 observa-se a distribuição das amostras. As anomalias de pintura apresentam na sequência a maior porcentagem de ocorrência, após as manchas e as fissuras, com 12,5%.

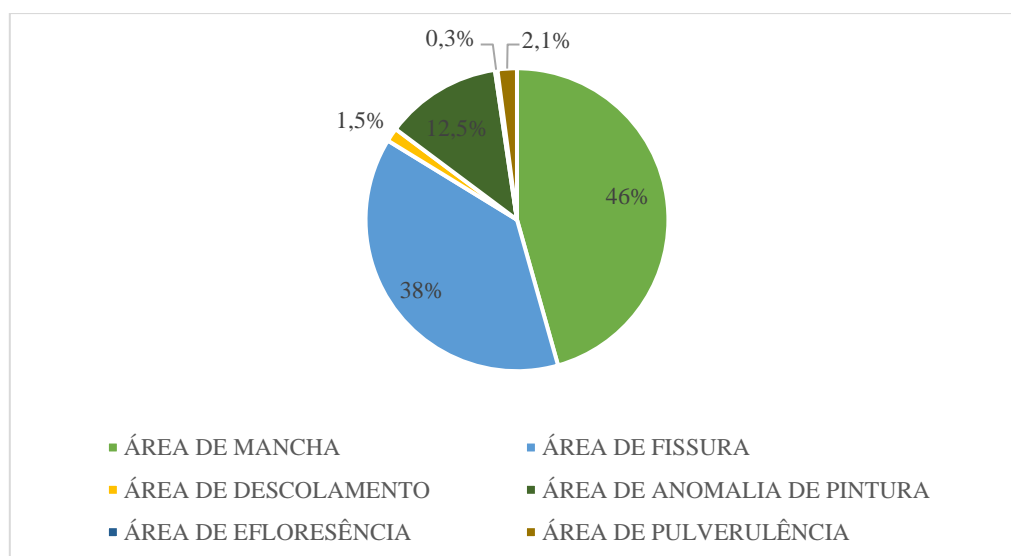


Figura 7.1: Distribuição das anomalias nas amostras com revestimento em argamassa em Brasília-DF.

As anomalias de pulverulência, eflorescência e descolamento são as que apresentam menores percentuais de ocorrência, sendo a eflorescência a com menor percentual, representando menos de 0,5 % de ocorrência de casos nas amostras.

Neste estudo, decidiu-se priorizar as anomalias de maior frequência de ocorrência para a execução dos cálculos e análise da degradação. As anomalias selecionadas incluem manchas, fissuras, anomalias de pintura e descolamentos. Apesar de os descolamentos apresentarem uma ocorrência menos frequente, eles representam uma anomalia de grande importância para o status de degradação das fachadas, assim como, elas podem ser consequência da propagação de outras anomalias, como as fissuras, por exemplo.

Com a quantificação das anomalias de cada uma das amostras, foi possível calcular o fator de danos por anomalia. Analisando a distribuição do FD Descolamento, apresentada na Figura 7.3 (a), percebe-se que em torno de 95% das amostras apresentaram um FD descolamento no máximo 0,027, comprovando que a área danificada por essa anomalia é bem reduzida, considerando a base de dados estudada. Com relação a variação do FD das manchas, percebe-se que a maioria das amostras apresenta um FD com valor máximo 0,238 e apenas 1% das amostras um FD de manchas entre 0,69 e 0,92. Ou seja, poucas amostras da base de dados apresentam grandes áreas degradadas por manchas, como pode ser observado na Figura 7.3 (b).

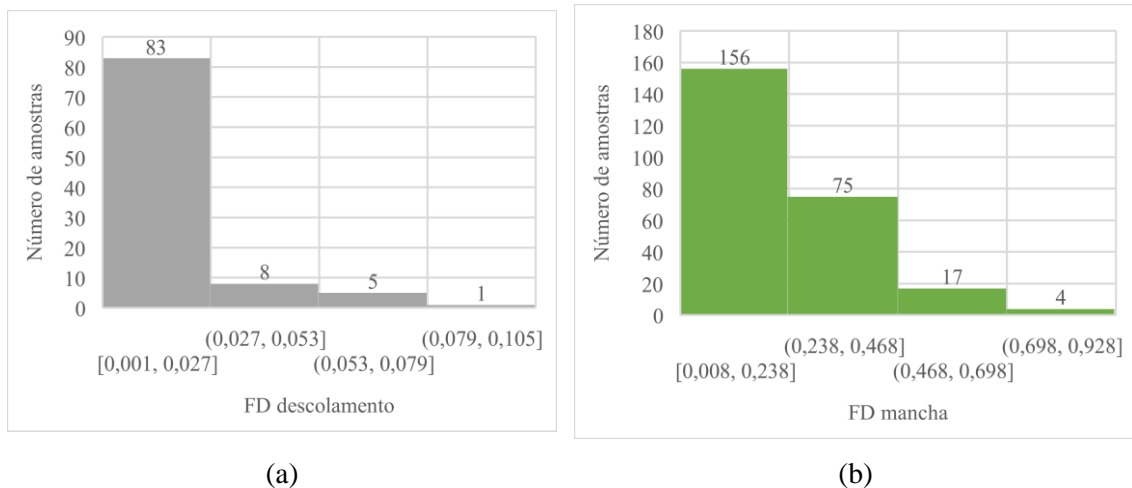
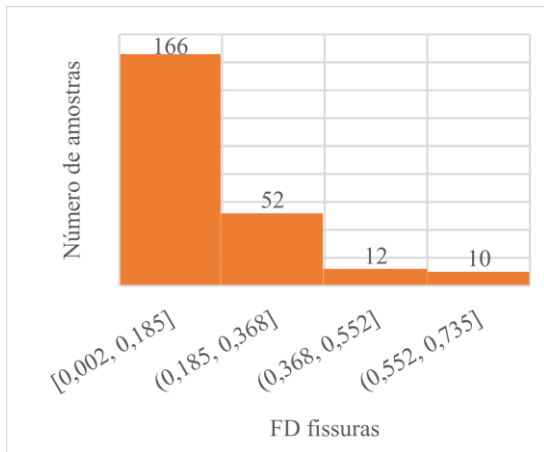
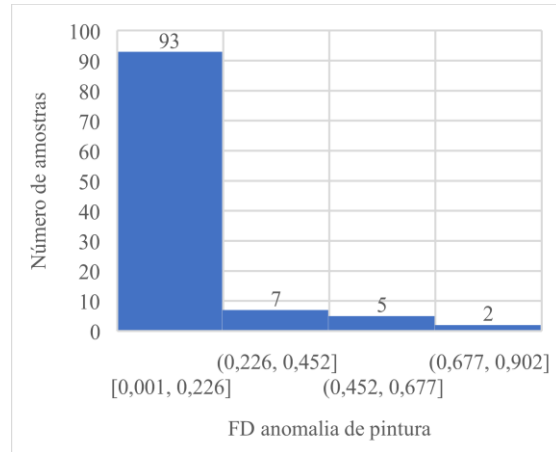


Figura 7.2: Distribuição dos fatores de danos por anomalia – (a) FD descolamento; (b) FD mancha; (c) FD fissuras; (d) FD anomalia de pintura



(c)



(d)

Figura 7.3: Distribuição dos fatores de danos por anomalia – (a) FD descolamento; (b) FD mancha; (c) FD fissuras; (d) FD anomalia de pintura (Continuação)

De igual maneira foi realizada a análise para as fissuras, conforme Figura 7.3 (c). Percebeu-se então que a maioria das amostras apresentavam um FD de fissuras com no máximo 0,185 e em torno de 4% das amostras apresentavam um FD máximo de 0,735, sendo este valor de FD de fissuras o mais alto entre os calculados na base de dados. Com relação às anomalias de pintura na Figura 7.3 (d), verificou-se que quase todas as amostras apresentaram um FD de no máximo 0,226.

Com os dados do FD por anomalia, calculou-se o valor do Fator de Danos das amostras (Figura 7.4) e a maioria das amostras apresentam um FD entre 0,000 e 0,430. Ou seja, mais de 65% das amostras apresentaram mais de 40% da área da fachada com danos, que corresponde ao FD de 0,435. Como o FD é a soma dos FD por anomalia, os valores encontrados são maiores, tendo em vista que tem áreas que apresentam mais de uma anomalia.

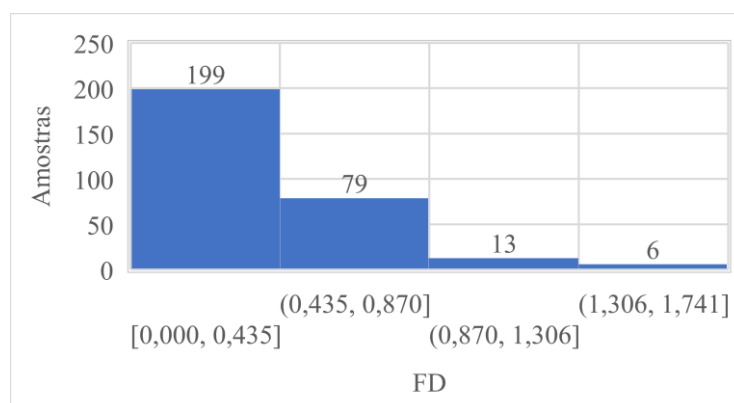


Figura 7.4: Fator de danos das amostras

Conforme observado, verifica-se que a distribuição de danos nas amostras da base de dados é mais concentrada no primeiro intervalo, apresentando um FD máximo de 0,430. Nas fachadas estudadas com revestimento em argamassa, as anomalias mais comuns são, em ordem de frequência, manchas e fissuras. Estudos em outras regiões, como as realizadas por Júnior (2020), na Região Metropolitana de Recife – PE, 90% das anomalias correspondem às manchas, assim como Pacheco (2016), na região de Vitória – ES, que as manchas representam 29% das anomalias e as fissuras 21%. Essa distribuição é semelhante ao encontrado nos estudos de Gaspar (2009), realizados em Portugal.

No contexto da região de Brasília – DF, Lopes (2023) verificou que as manchas correspondem as anomalias mais frequentes, seguidas pelas anomalias de pintura e as fissuras.

Percebe-se que o quantitativo das duas anomalias é muito próximo e o percentual das demais anomalias é menos expressivo, como também pode ser observado em outros estudos. A variabilidade entre os percentuais encontrados nos estudos pode ocorrer em função da variação dos edifícios, seja pela exposição, pelos materiais utilizados e até mesmo pelas ações de manutenção realizadas antes da realização da inspeção.

## 7.2 DEGRADAÇÃO POR ORIENTAÇÃO

Inicialmente verificou-se a distribuição das amostras com relação a orientação e das 297 amostras, 128 são fachadas leste e 127 fachada oeste, sendo as demais distribuídas entre as fachadas sul e norte, como pode ser observado na Figura 7.5.

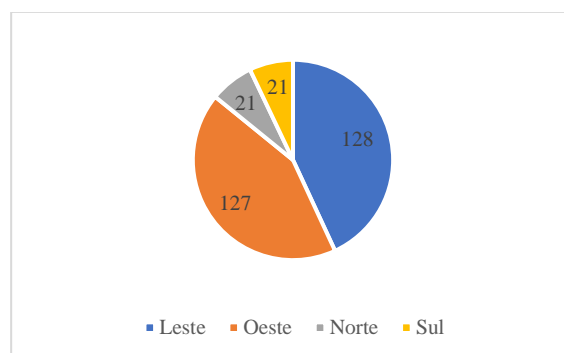


Figura 7.5: Distribuição do número de amostras por orientação

Como a degradação das fachadas é influenciada pelos agentes de degradação, as fachadas recebem ações diferentes em função da exposição pela qual se encontram e com isso, essa investigação visa a analisar as tendências a partir dos indicadores.

Com os valores do  $FD_{anomalia}$ , analisou-se a distribuição das anomalias por orientação, conforme apresentado na Figura 7.6. As anomalias de mancha e fissuração ocorrem em maior percentual em todas as orientações, mas percebe-se que as anomalias de pintura também demonstram um percentual representativo nas orientações norte e sul.

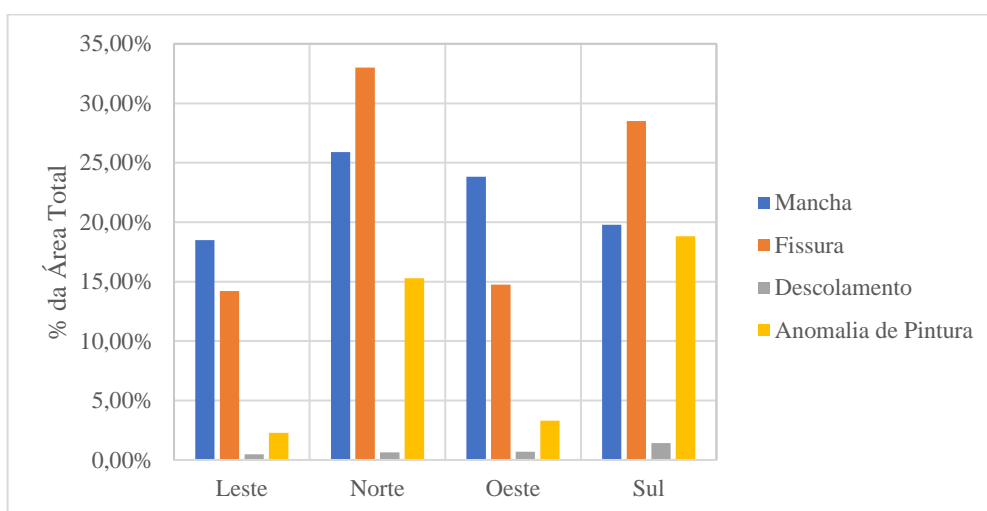
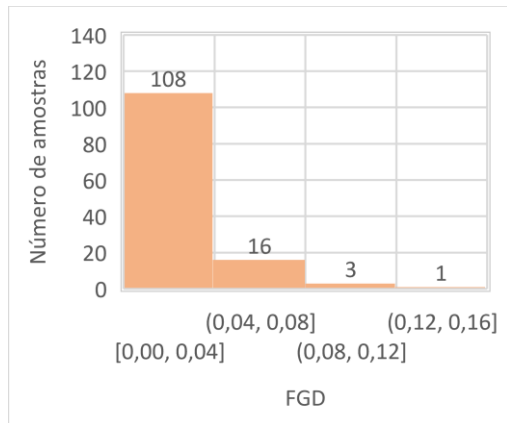
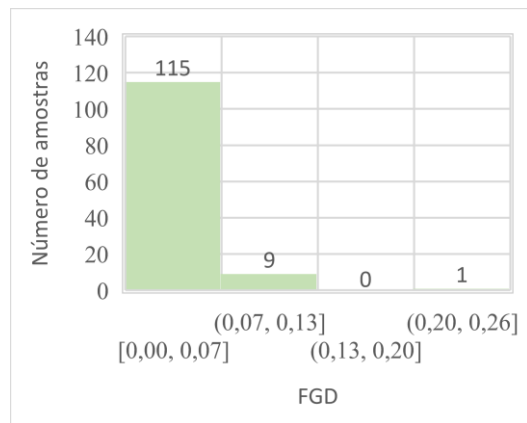


Figura 7.6: Distribuição das áreas de anomalias por orientação

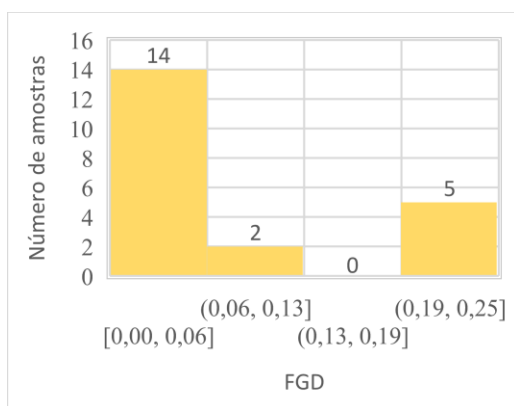
A fachada norte é a que apresenta maior percentual de áreas degradadas por fissuras e manchas. As anomalias de pintura são mais representativas na fachada de orientação sul. Analisando separadamente o FGD de cada orientação, observa-se que as amostras da fachada leste, Figura 7.7 (a), apresentam um FGD de no máximo 0,04 e a segunda faixa com maior amostragem foi em torno de 0,08.



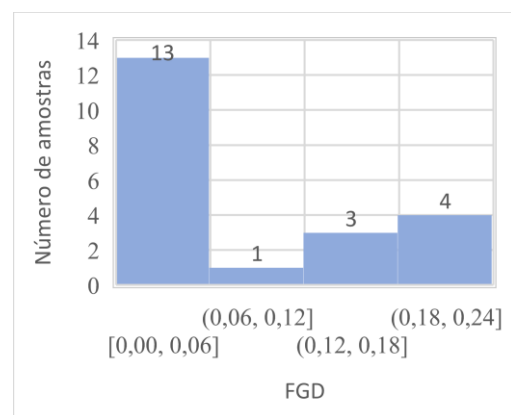
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7.7: Distribuição das anomalias por orientação – (a) Fachada leste; (b) Fachada oeste; (c) Fachada sul; (d) Fachada norte

No caso das fachadas com orientação oeste, percebe-se que o comportamento das amostras foi similar ao da fachada leste, como pode ser observado na Figura 7.7 (b). O resultado do FGD para a fachada oeste apresenta que a maioria das amostras tinha um FGD de no máximo 0,07 e o segundo intervalo com no máximo 0,13. Os demais intervalos tiveram um valor pequeno na representatividade das amostras.

Por outro lado, na análise da fachada sul conforme a Figura 7.7 (c), percebe-se que a maioria das amostras apresentavam no máximo um FGD de 0,06. Por outro lado, verificou-se que o intervalo de FGD entre 0,19 e 0,25 também obteve uma representatividade maior do que os outros intervalos.

A fachada norte também apresentou um comportamento similar ao da fachada sul, como se observa na Figura 7.7 (d). Os intervalos que mais apresentam amostras são

os que possuem um FGD máximo de 0,06 e o segundo intervalo com mais amostras é o que apresenta FGD entre 0,18 e 0,24.

Analisando a distribuição dos níveis de gravidade para cada uma das orientações, como mostra a Tabela 7.2, verifica-se que os níveis de gravidade máximos de cada tipo de anomalia apresentam uma quantidade de amostras inferiores aos outros níveis do mesmo tipo de anomalia.

Tabela 7.2: Número de amostras por nível de gravidade por orientação.

Orientação	Nível de gravidade - Mancha			Nível de gravidade - Fissura				Nível de gravidade - Anomalia pintura			Nível de gravidade - Descolamento		
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	2	3	4
Norte	8	7	3	7	4	1	7	11	1	3	12	0	0
Sul	13	4	2	9	3	2	5	7	3	2	12	0	0
Leste	82	41	1	54	56	9	1	38	2	0	51	0	0
Oeste	43	58	12	66	42	9	1	42	3	1	50	1	0

De modo geral, a maioria das amostras encontram-se entre os níveis de gravidade 1 e 2, o que está relacionado com o nível de degradação, tendo em vista que são poucas amostras que estão mais degradadas e que muitas amostras da base dados são mais novas e as alguns edifícios mais antigos que foram inspecionados podem ter passado por intervenção. Esse comportamento também é observado na análise dos indicadores a seguir.

A análise dos níveis de gravidade nas amostras da base de dados mostra que a maioria se situa nos níveis 1 e 2 para todas as orientações. Notavelmente, no que tange às anomalias de descolamento, não se observaram casos nos níveis 3 e 4, com incidências apenas no nível 2, independentemente da orientação. Por outro lado, Júnior (2020) constatou em seus estudos que, para manchas, as amostras se concentram majoritariamente nos níveis 1 e 2 na orientação norte, expandindo-se para os níveis 1, 2 e 3 na orientação oeste, nos níveis 2 e 3 na orientação leste, e alcançando o nível 4 na orientação sul. Quanto às fissuras, a fachada leste apresentou maior prevalência, enquanto a fachada norte foi a menos afetada.

A partir das amostras da base de dados realizou-se a distribuição de todos os valores de FGD em ordem crescente de idade, por orientação, como observado na



Figura 7.8. Observa-se que o gráfico exibe uma dispersão dos dados, com picos nas orientações norte e sul, com a idade de 48 anos e o outro pico de uma amostra na orientação oeste com 49 anos.

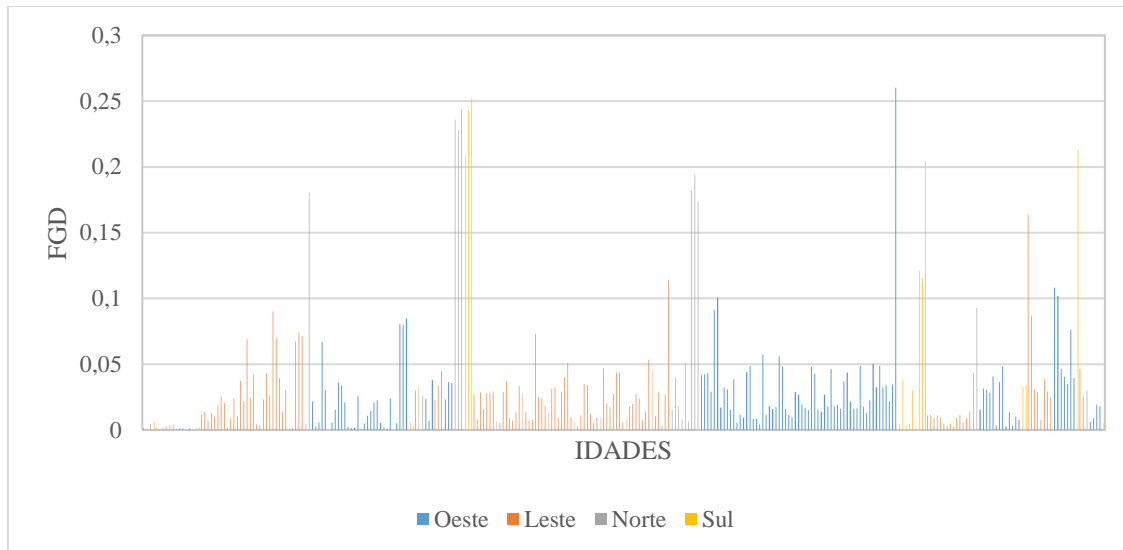


Figura 7.8: Variação do Fator geral de danos por orientação

A máxima variação do FGD registrada foi de 0,260 em uma amostra da fachada oeste, indicando danos consideráveis nessa amostra. Para a orientação norte, o valor máximo do FGD atingiu 0,236, enquanto na orientação sul foi de 0,252. O pico observado na fachada oeste representa um caso isolado, visto que a média do FGD entre todas as amostras é de apenas 0,028, e na fachada leste, essa média é de 0,024. Esse pico na fachada oeste pode ser atribuído a um estado específico e localizado de degradação na anomalia.

Aos 21 anos, as fachadas orientadas para o leste apresentam uma média de FGD de 0,0287, enquanto as orientadas para o oeste têm uma média de 0,0209. Aos 49 anos, observa-se um aumento significativo nos danos, com a média do FGD para o oeste sendo 0,0328 e para o leste 0,0237. Observa-se dessa maneira um comportamento em que a degradação está aumentando com a idade e que as orientações norte e sul são as mais degradadas.

De modo geral, analisando a média das amostras, como apresentado na Figura 7.9, observa-se que o comportamento é similar, no qual a fachada norte apresenta valores mais elevados, seguido pela fachada sul.

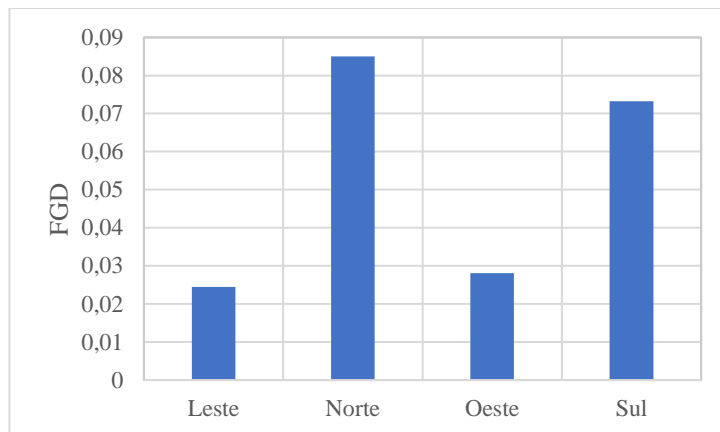


Figura 7.9: FGD por orientação

As fachadas que apresentam uma maior degradação são a norte e a sul. Júnior (2020) analisou, no seu estudo realizado na região de Recife, que as amostras mais degradadas são as das fachadas sul e leste. Chai (2011), em seus estudos em Portugal verifica que as fachadas mais degradadas são a sul e a oeste. Ressalta-se que são regiões diferentes e que podem receber influências de diversos agentes de degradação.

Ao analisar o impacto das diferentes anomalias de degradação nas orientações das fachadas, observa-se que as fissuras são mais prevalentes nas fachadas norte e sul. Esse padrão pode ser explicado pela exposição destas fachadas a fatores externos como radiação solar, chuva e variações térmicas. Além disso, a ocorrência de fissuras pode estar relacionada à execução da fachada e ao uso de materiais inadequados. Os mecanismos que propiciam o surgimento de fissuras incluem a retração da argamassa, a concentração de esforços e a deformação diferencial entre a alvenaria e o revestimento. Paralelamente, as manchas tendem a surgir mais em fachadas expostas à ação da chuva, ventos e deposição de micro-organismos. A molhagem irregular causada pela chuva e o acúmulo de sujeira trazido pelo vento são fatores que contribuem para o aparecimento destas manchas.

### 7.3 DEGRADAÇÃO DA FACHADA POR IDADE

Na sequência também foi analisada a variação da idade com relação aos indicadores encontrados. Como a base de dados conta com amostras que possuem idade entre 11 anos e 60 anos, foram considerados três grupos para a análise.

- Primeiro grupo: Edifícios com idades menores que 20 anos;

- Segundo grupo: Edifícios entre 20 anos e 35 anos;
- Terceiro grupo: Edifícios maiores que 35 anos.

A divisão das idades entre os grupos foi realizada a partir da análise da vida útil de projeto do revestimento de fachada, que é de no mínimo 20 anos, como sugerido na norma ABNT NBR 15575-1:2021. O primeiro grupo foram com edifícios com idade menores que 25 anos e, pela Figura 7.10 (a) percebe-se que a maioria das amostras se encontram no primeiro intervalo de FGD, que são amostras que atingem no máximo um FGD de 0,002. Os demais intervalos não apresentaram um grande quantitativo de amostras e o máximo valor encontrado foi de 0,006.

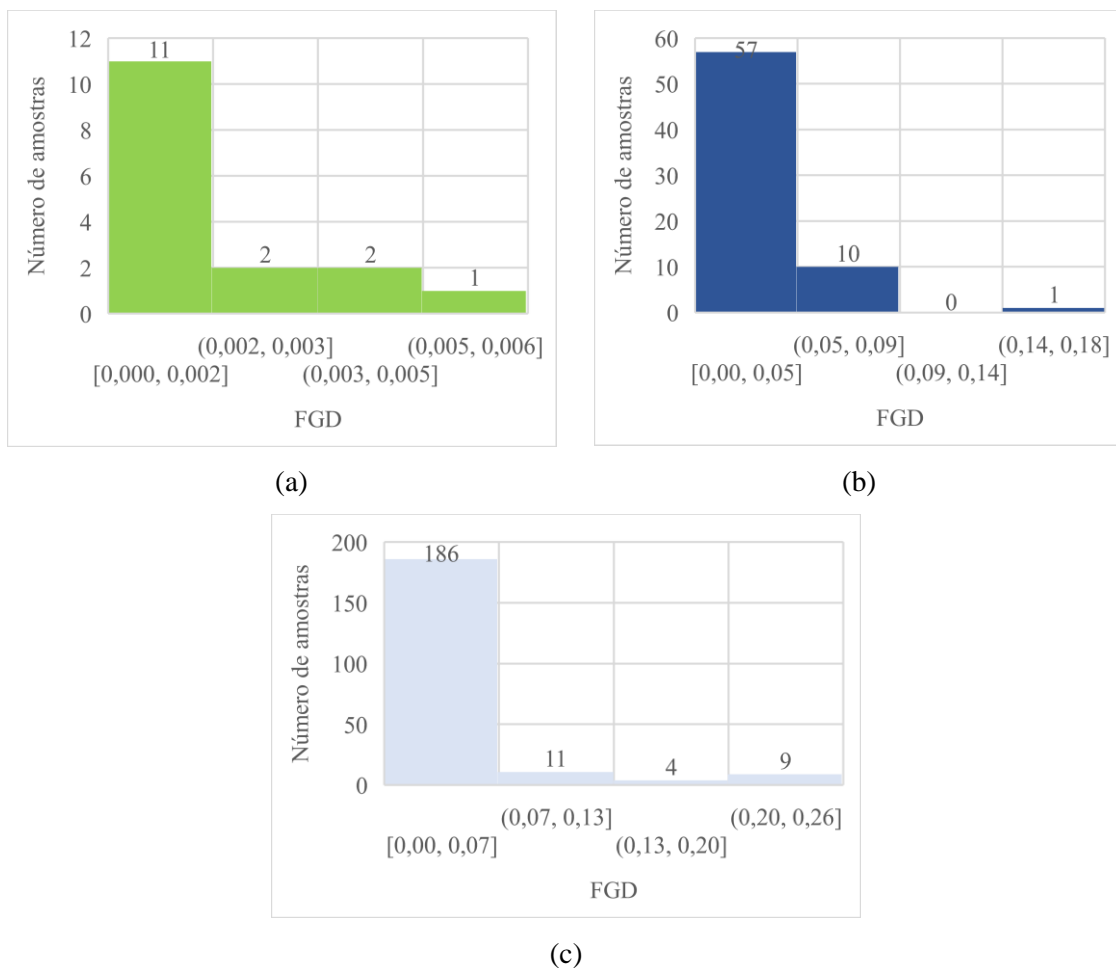


Figura 7.10: Distribuição das amostras por idade – (a) Amostras com idade menor que 20 anos; (b) Amostras com idade entre 20 anos e 35 anos; (c) Amostras com idade maior que 35 anos

As amostras com idades entre 20 e 35 anos, Figura 7.10 (b), apresentam o maior número de amostras com um FGD máximo de 0,05. O intervalo de FGD entre 0,05 e

0,09 também apresenta um quantitativo significativo de amostras. Para esse intervalo o maior valor de FGD encontrado foi de 0,18.

O terceiro grupo, que contava com edifícios acima de 35 anos, percebe-se que intervalo de FGD com maior amostragem é que apresenta valor máximo de 0,07. Entretanto há amostras no intervalo de 0,20 e 0,26, mostrando assim a presença de amostras com FGD de degradação elevada. A Figura 7.10 (c) mostra a variação dos intervalos de FGD para as amostras com idade acima de 35 anos.

Analisando a distribuição dos níveis de acordo com os intervalos de idade, percebe-se pela Tabela 7.3, que o comportamento é o mesmo que ocorreu na análise das orientações.

Tabela 7.3: Número de amostras por nível de gravidade por intervalo de idade.

Orientação	Nível de gravidade - Mancha			Nível de gravidade - Fissura				Nível de gravidade - Anomalia pintura			Nível de gravidade - Descolamento		
	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	2	3	4
Até 20 anos	12	0	0	12	0	0	0	5	0	0	0	0	0
De 20 a 35 anos	45	6	0	30	20	10	1	30	4	1	27	0	0
Acima de 35 anos	89	104	18	94	85	11	13	63	5	5	98	1	0

A análise revela que as amostras geralmente se agrupam nos níveis 1 e 2 de gravidade. Especificamente, amostras com até 20 anos estão todas classificadas no nível 1 de gravidade. Em amostras com idades entre 20 e 35 anos, a maioria está no nível 1, exceto no caso de fissuras, onde a distribuição entre os níveis 1 e 2 é mais equilibrada.

Quanto às amostras com mais de 35 anos, observa-se que, para manchas, a maioria está classificada no nível 2, indicando um nível de degradação que requer um planejamento de intervenção mais leve. No caso de fissuras, a distribuição entre os níveis 1 e 2 é similar. Porém, para descolamentos e anomalias de fissuras, a tendência é uma classificação no menor nível de gravidade.

Para uma análise mais detalhada da degradação, os dados foram apresentados na Figura 7.11, que mostra a variação do FGD de todas as amostras, organizadas por ordem crescente de idade. Isso permite observar a variação do FGD ao longo do tempo,

evidenciando uma variação considerável nos dados, com diferentes valores de FGD encontrados em amostras da mesma idade, conforme ilustrado na Figura 7.11.

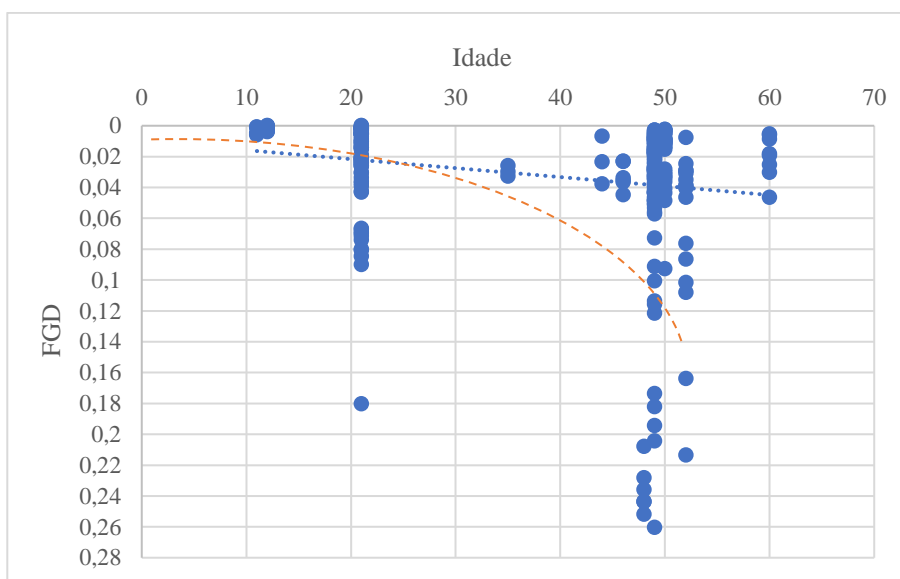


Figura 7.11: Variação do FGD por idade

Observa-se que, em geral, o Fator Geral de Danos (FGD) tende a aumentar com a idade da edificação. No entanto, algumas amostras desviam-se desse padrão, o que pode ser explicado por vários fatores. Por exemplo, amostras com 60 anos apresentam valores baixos de FGD, possivelmente devido a ações de manutenção efetivas que trataram ou mascararam danos, tornando-os não detectáveis durante a inspeção.

As amostras de 49 anos mostram maior dispersão. É importante notar que essas amostras não provêm de uma única edificação, mas sim de três diferentes. As variações observadas podem ser atribuídas às diferenças nos materiais usados, na tipologia construtiva e nas práticas de manutenção de cada edifício. Outros fatores, como a exposição variada aos agentes de degradação, também podem influenciar, já que algumas amostras podem estar mais protegidas do que outras. Uma amostra com 21 anos exibe um FGD atípico de 0,18, uma situação pontual que pode ser justificada por uma execução inadequada ou pela tipologia arquitetônica específica da edificação.

Conforme ilustrado na Figura 7.12, uma comparação das médias de FGD entre diferentes orientações revela que o Fator Geral de Danos nas fachadas norte e sul é geralmente maior do que nas outras orientações, em quase todas as faixas etárias.

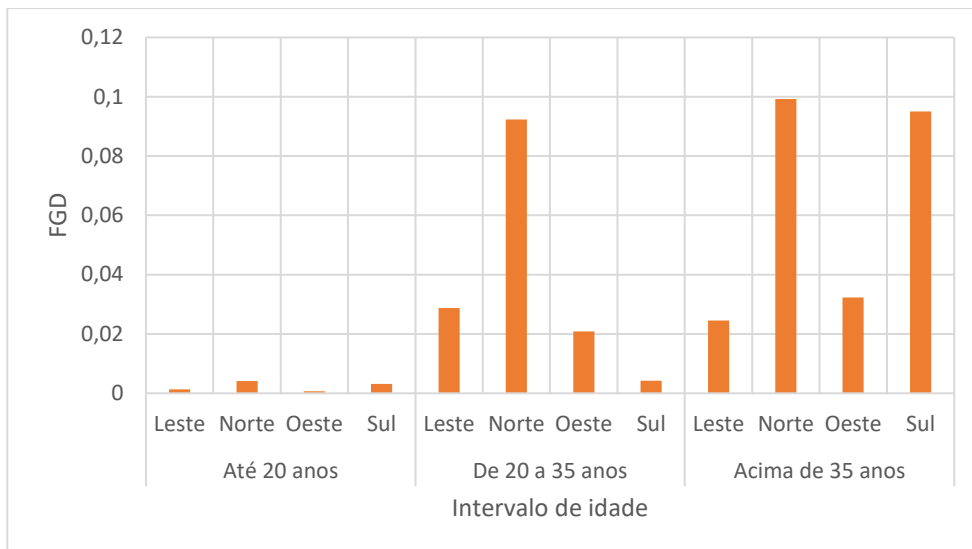


Figura 7.12: Comparação do FGD pela idade e orientação

Analisando a distribuição das anomalias pela faixa de idade, percebe-se que as anomalias de mancha e fissuras estão presentes em todos os intervalos de idade, como observado na Figura 7.13.

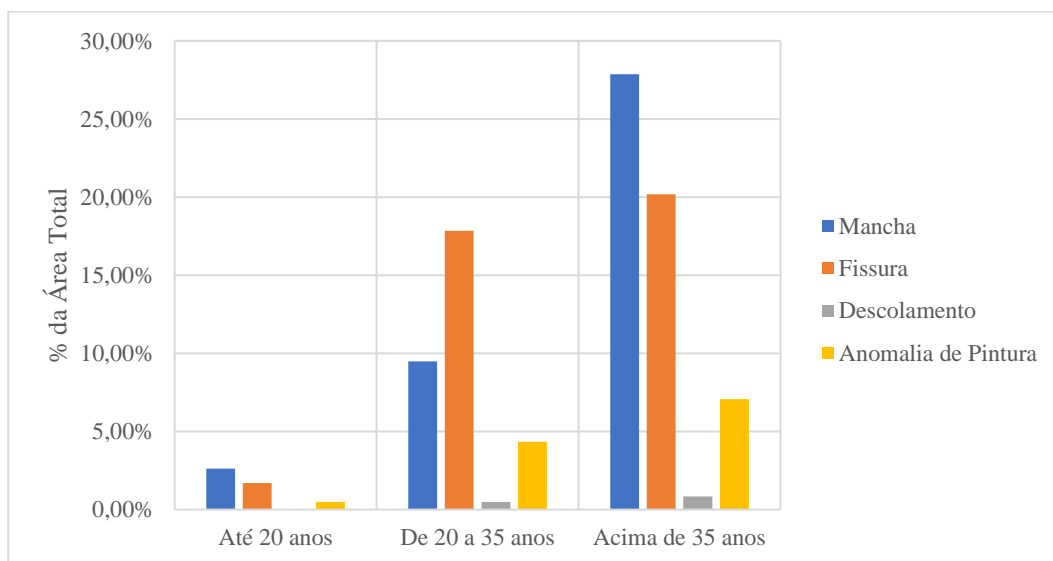


Figura 7.13: Distribuição das anomalias por idade.

Percebe-se que as áreas afetadas por anomalia são crescentes com o crescimento das idades, ou seja, os edifícios com idades mais elevadas apresentam maior degradação. No intervalo entre 20 e 35 anos, a anomalia com área mais expressiva é a fissura, seguida pelas manchas. Já no intervalo acima dos 35 anos, o comportamento foi o oposto, com as anomalias de maior área sendo as manchas.

Com relação às anomalias de pintura, percebeu-se um comportamento crescente ao longo do tempo e os descolamentos não foram expressivos em nenhuma das faixas. Essa situação pode ser justificada pela idade das edificações. As amostras podem ser consideradas novas, quando comparadas com outras regiões como Salvador e Recife, por exemplo e os descolamentos podem estar mais associados com o avanço da idade. Analisando a distribuição dos fatores de danos das anomalias nas faixas de idade, percebe-se o comportamento similar ao apresentado na distribuição áreas de anomalias na Figura 7.13. Entretanto, na Figura 7.14 pode-se verificar que a média dos fatores de danos aumenta com o aumento da idade e no caso das amostras com mais de 35 anos o FD de mancha foi o que apresentou maior valor, mas quando ponderado pela importância relativa, que é o FD equivalente, observa-se que foi inferior aos das fissuras.

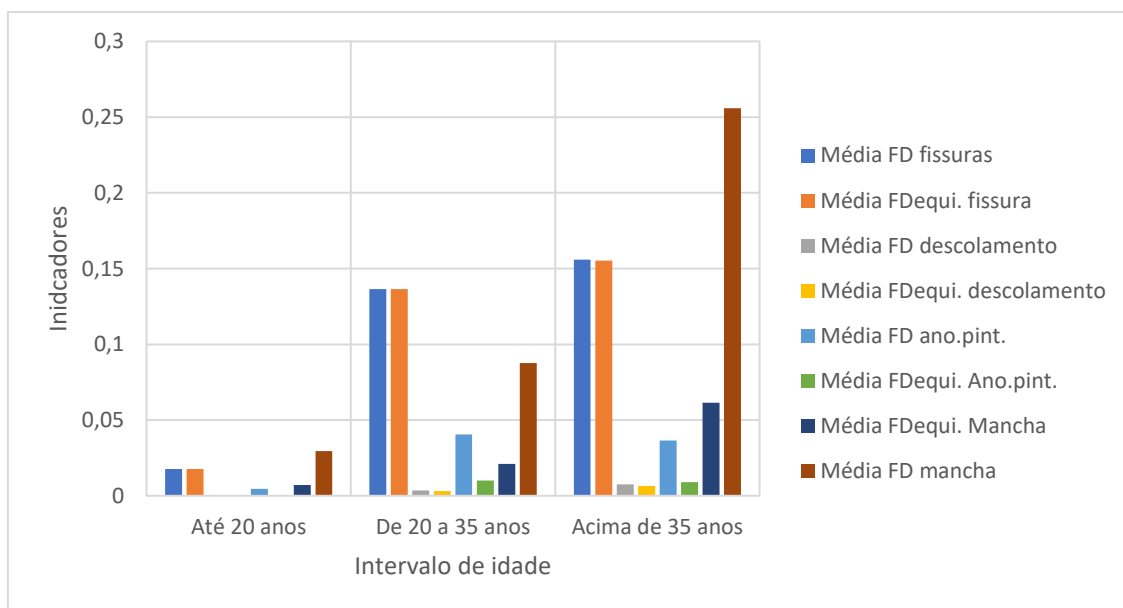


Figura 7.14: Comparação do FD x FDequi

Em resumo, tanto as fissuras quanto as manchas são observadas em todas as amostras, abrangendo as diversas faixas etárias. Nota-se que o crescimento no número de anomalias relacionadas a manchas é mais significativo com o avançar da idade, especialmente quando comparado ao aumento das anomalias de fissuras. As anomalias de pintura também apresentam um crescimento de degradação com o aumento da idade, como observado na Figura 7.13. Por outro lado, os descolamentos não apresentam um

quantitativo de área de degradação expressivo em nenhuma das amostras da base de dados.

Verifica-se também que a distribuição da degradação ao longo das idades foi dispersa. Ou seja, os valores encontrados para o FGD não cresceram com o aumento da idade para todas as amostras. Tal discrepância indica que outros fatores além da idade influenciam no indicador de degradação. Entre esses fatores pode-se destacar os materiais utilizados, a metodologia construtiva, a execução e a realização de intervenções.

Ressalta-se que às inspeções são realizadas em momentos específicos e possíveis ações de manutenção ou intervenções leves, como a lavagem da fachada, podem influenciar na quantificação da degradação, pois algumas anomalias podem ser mascaradas e voltar a surgir em outro momento. Dessa forma, deve-se corrigir os danos com procedimentos e intervenções adequados para evitar danos mais severos. Assim, compreende-se que o processo de degradação deve ser visto como um espectro. A tendência de degradação deveria ser avaliada dentro desse intervalo, e não em um único momento, já que o comportamento pode variar conforme o momento da avaliação.

#### **7.4 DEGRADAÇÃO E VIDA ÚTIL**

O modelo de degradação proposto visa analisar o comportamento da degradação com relação ao aumento da idade das amostras. Com os resultados obtidos a partir da quantificação do Fator Geral de Danos, selecionou-se os valores máximos de FGD por idade para se analisar a variação da degradação como observado no modelo proposto na Figura 7.15.

Como observado na Figura 7.11, a dispersão dos dados de FGD é notória para a base de dados estudada. A fim de se avaliar a vida útil do modelo, adotou-se como critério a análise das amostras com maiores valores de FGD, para cada uma das faixas de idade, dessa forma, adotou-se os 20% dos maiores valores de FGD de cada uma das idades estudadas. Entende-se que esse critério é aceitável por considerar os piores cenários, ou seja, a gravidade máxima considerando o grupo de amostras. Com a distribuição do FGD das amostras pela idade é possível verificar a evolução da degradação com o aumento da idade e analisar as condições mais importantes de



degradação com amostras com degradação elevada. A curva encontrada, a partir de uma regressão polinomial é apresentada na Figura 7.15.

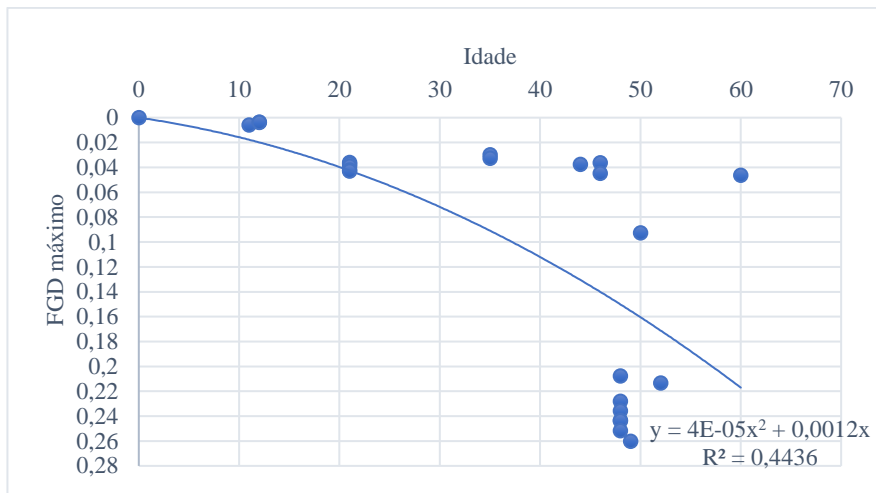


Figura 7.15: Modelo de degradação das fachadas com revestimento em argamassa.

Percebe-se que o comportamento dos dados representa um crescimento dos valores de FGD com o aumento da idade. Como abordado anteriormente, observa-se pela curva que as fachadas com idades menores que 20 anos, o FGD máximo é próximo a 0,05. No caso das fachadas com idades acima de 35 anos, o FGD máximo é de 0,26.

Relacionando o modelo de degradação com a vida útil, percebe-se que com a análise das curvas é possível avaliar a evolução dos danos ao longo do tempo e a vida útil. Pela ABNT NBR 15575-1:2013, a vida útil de protejo sugerida para as fachadas com revestimento aderidos é no mínimo 20 anos e superior a 30 anos. Sendo assim, com a curva de degradação é possível obter uma referência do indicador de degradação, FGD, como observado na Figura 7.16.

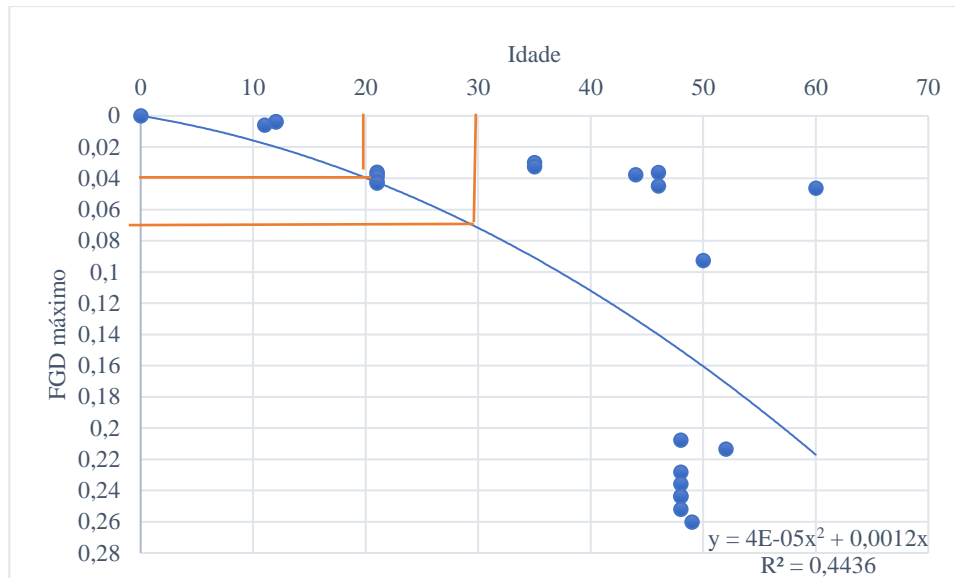


Figura 7.16: Vida útil estimada

O valor do indicador correspondente para a faixa de idade de 20 anos foi de 0,04 e para 30 anos de 0,072. No caso do estudo de Souza (2016), para fachadas com revestimento cerâmico, foi obtido um valor de 0,0279 para 20 anos.

Pela tendência de comportamento dos dados, percebe-se a queda de desempenho ao longo do ciclo de vida. Portanto, é fundamental estabelecer uma vida útil para as fachadas a partir do nível mínimo de desempenho estabelecido. Consequentemente, fachadas com revestimento em argamassa com níveis de degradação superiores a 0,04, possivelmente ultrapassam o limite de vida útil de projeto mínima e necessitam de uma intervenção de manutenção para devolver ao sistema a sua funcionalidade adequada.

## 7.5 COMPARAÇÃO DOS INDICADORES DE DEGRADAÇÃO

No âmbito do estudo, a metodologia inclui a proposição de um novo indicador, denominado FD equivalente e de um novo FGD, a partir da proposta dos novos índices de gravidade. O FD equivalente é calculado a partir do FD e da importância relativa das amostras.

Neste estudo são elaborados níveis de gravidade para cada uma das anomalias, como apresentado no Quadro 7.1. No caso das anomalias de fissuras, elas são classificadas em quatro níveis de gravidade. Já os descolamentos são considerados a partir do nível 2, refletindo a compreensão de que mesmo pequenos descolamentos nas

amostras podem impactar significativamente a degradação, podendo causar riscos à estrutura pela entrada de agentes externos e até mesmo representar perigo aos usuários devido à possível queda do revestimento.

Quadro 7.1: Níveis de gravidade

Nível	FD fissuras	FD descolamento	FD mancha	FD anomalia de pintura
1	$0 < FD < 0,10$	-	$0 < FD < 0,20$	$0 < FD < 0,20$
2	$0,10 < FD < 0,3$	$0 < FD < 0,10$	$0,20 < FD < 0,5$	$0,20 < FD < 0,5$
3	$0,3 < FD < 0,5$	$0,10 < FD < 0,3$	$FD > 0,5$	$FD > 0,5$
4	$FD > 0,5$	$FD > 0,3$	-	-

As anomalias superficiais classificam-se apenas nos níveis 1, 2 e 3. Entende-se que anomalias superficiais, como manchas e anomalias de pintura, não provocam danos suficientes para uma perda total do desempenho da fachada, sendo frequentemente associadas à perda da funcionalidade estética.

A partir dos níveis de gravidade, da importância relativa e das áreas danificadas das amostras calculou-se os indicadores de degradação, o FGD, FD e FD equivalente. Para validação do comportamento dos indicadores realizou-se simulações e observou-se que os três índices calculados respondem de maneira adequada ao estudo da degradação. Com relação à variável orientação, observa-se pela Figura 7.17, que os três indicadores mostram os picos da degradação mais acentuadas das fachadas norte e sul, como encontrado na análise por orientação anteriormente.

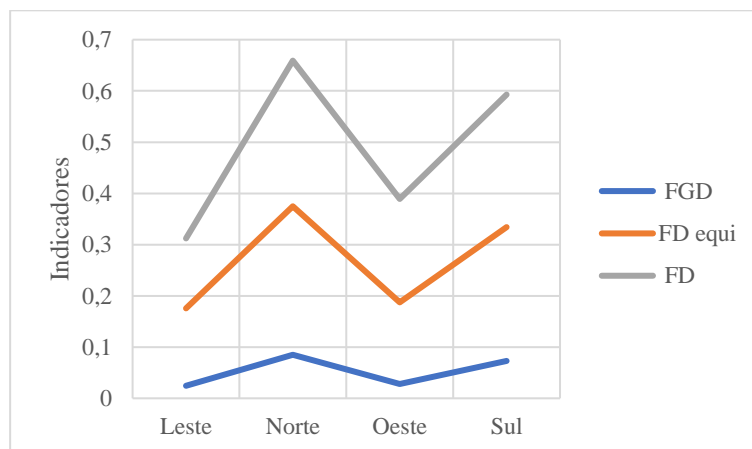


Figura 7.17: Comparação dos indicadores por orientação

Com relação à variável idade o comportamento foi similar, onde observa-se na Figura 7.18 (a) o crescimento do FD equivalente com o aumento da idade. Do mesmo modo, ocorre tal crescimento na variação do FD, conforme Figura 7.18 (b), e do FGD conforme a Figura 7.18 (c).

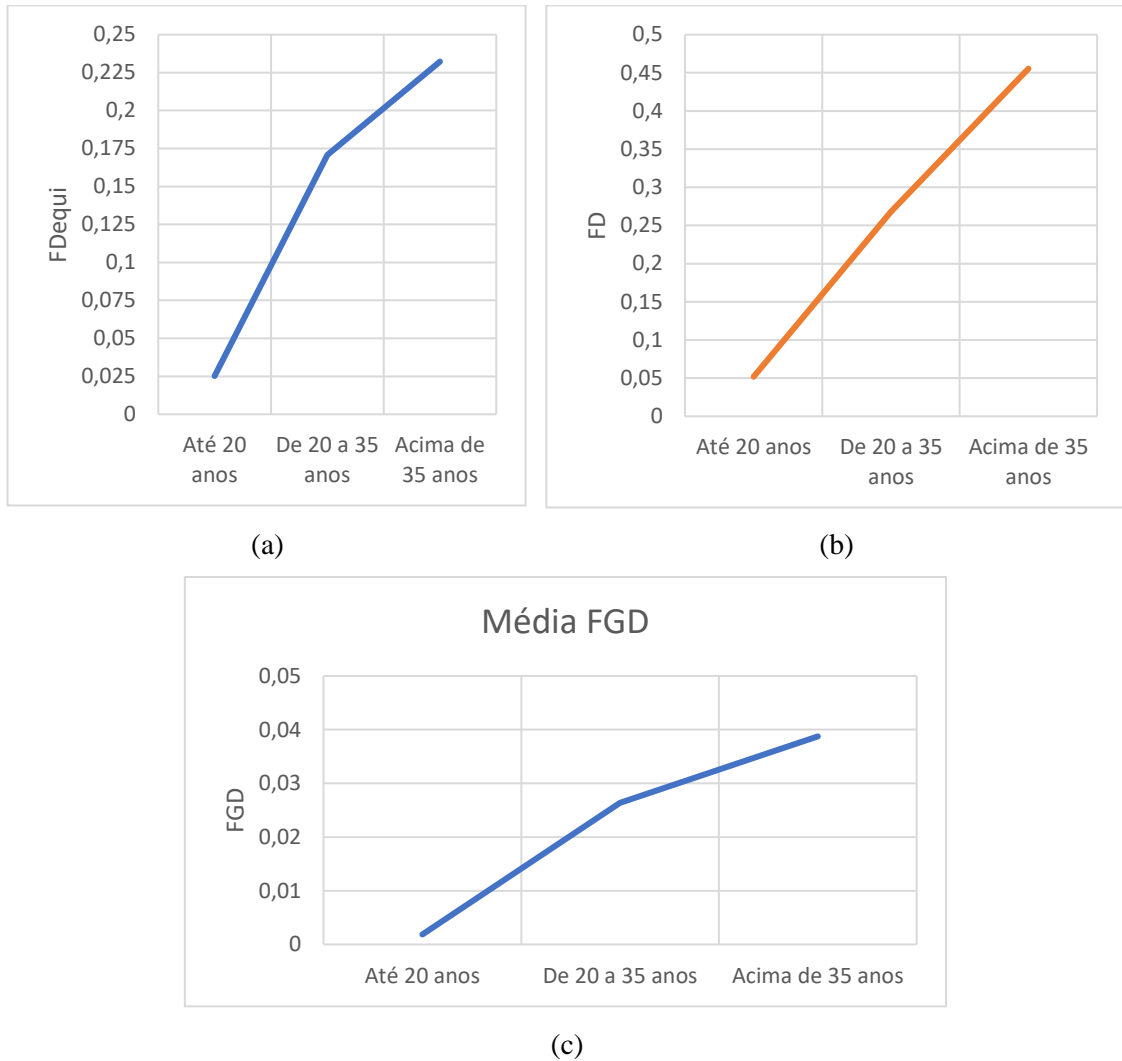


Figura 7.18: Comparação dos indicadores por idade - (a) FDequi; (b) FD; (c) FGD

Dessa forma, o FD equivalente revela-se mais detalhado que o FD convencional pois incorpora o índice de importância relativa da anomalia, aspecto crucial na análise da degradação. Entretanto, não considera os níveis de gravidade que são utilizados apenas no cálculo do FGD, tornando-se o indicador mais detalhado para análise da degradação. Quando comparado com o indicador de severidade de Gaspar (2009), verifica-se que o FGD proposto é um indicador mais preciso e adequado para o estudo e análise da degradação das fachadas com revestimento em argamassa.

## 8. CONCLUSÕES

O estudo atual é fundamental para verificar o comportamento da degradação das fachadas com revestimento em argamassa. Dessa forma, o objetivo da pesquisa visa definir a proposição do indicador de degradação, o FGD adaptado, a partir da definição dos níveis de gravidade das anomalias. Assim como a verificação da influência das anomalias estruturais na degradação. No estudo também é apresentada a proposta do indicador Fator de Danos Equivalente, obtido a partir do índice de importância relativa das anomalias.

Para as inspeções, recorreu-se ao uso de *drones* para a coleta de dados, fundamentais na aplicação do método de mensuração da degradação. As imagens capturadas pelos drones foram de alta resolução, contribuindo significativamente para a precisão na identificação das anomalias presentes nas amostras.

A proposição dos níveis de gravidade facilita em identificar em que estado de degradação encontra-se a fachada, a partir de uma análise qualitativa e quantitativa. Verificou-se que na base de dados estudada, a maioria das amostras encontra-se entre os níveis 1 e 2 de degradação. Esse status mostra que as amostras não se encontram tão degradadas em decorrência da idade ou por terem passado por processo de manutenção.

Os níveis de gravidade são de fundamental importância por auxiliar na identificação do status de degradação da fachada e auxiliar na identificação da intervenção que deve ser necessária e do risco que ela pode causar à estrutura da edificação e ao usuário. Concomitantemente, a identificação do nível de gravidade das anomalias auxilia na verificação do nível de desempenho do elemento e se ele ainda atende às funcionalidades para qual foi projetado.

Para a validação dos indicadores, efetua-se uma simulação de cenários que demonstra a adequação dos três indicadores – o Fator de Danos (FD), o Fator Geral de Danos (FGD) e o Fator de Danos Equivalente ( $FD_{equi}$ ) – para a mensuração da degradação em fachadas com revestimento em argamassa. Com a simulação observou-se que o comportamento dos três indicadores é eficiente para a análise da degradação, mas que o FGD apresenta uma análise mais detalhada.

As simulações conduzidas revelaram a influência de anomalias estruturais, incluindo fissuras e descolamentos. Foi constatado que cenários com danos extensivos, como manchas e anomalias na pintura, não resultam em valores tão elevados de degradação quanto aqueles em que metade da amostra apresenta fissuras e descolamentos. Este resultado destaca a necessidade de investigar a degradação e avaliar a influência específica de diferentes tipos de anomalias. Manchas e anomalias de pintura, classificadas como superficiais, embora possam afetar grandes áreas, raramente resultam em perda total do desempenho, quando consideradas isoladamente.

Em contraste, pequenos descolamentos e fissuras, dependendo de suas dimensões, podem comprometer significativamente a funcionalidade da fachada, permitindo a infiltração de agentes externos e afetando a estrutura. Portanto, é fundamental considerar o nível e a natureza das anomalias ao avaliar a performance de fachadas projetadas para determinadas funções.

Em relação à orientação, nota-se que as fachadas norte e sul são as mais degradadas e isso é possivelmente resultado da exposição aos agentes de degradação, como radiação solar, chuva e variação térmica. Entre as anomalias mais recorrentes nas fachadas com revestimento em argamassa verificou-se que as manchas e as fissuras são as mais frequentes.

Com relação a idade, observa-se o comportamento crescente da degradação com o aumento da idade. Verifica-se pela distribuição dispersiva dos dados da base de dados que outros fatores além da idade influenciam o FGD. No estudo evidencia-se que algumas amostras mais novas apresentaram nível de degradação elevado e que, por outro lado, amostras mais antigas apresentaram menor degradação. Esse comportamento pode ser justificado pelos materiais que podem ter sido utilizados, pelo modo de execução, pelos métodos construtivos adotados e pela realização de manutenção e intervenções realizadas ao longo do ciclo de vida da edificação.

Pela curva de degradação também se obteve a vida útil das fachadas com revestimento em argamassa. O valor do FGD foi de 0,04 para um nível de desempenho mínimo de 20 anos e para 30 anos 0,072, que são os valores de vida útil de projeto mínima e superior, sugeridos pela norma ABNT NBR 15575-1:2021. Dessa forma, entende-se que as amostras que possivelmente ultrapassem esse valor de degradação

devem ser verificadas a necessidade de manutenção para o estabelecimento da funcionalidade adequada. Ressalta-se a importância de definir critérios mais específicos para definição do fim da vida útil das amostras ao longo do seu ciclo de vida.

Avaliando o comportamento das curvas de degradação em função da idade percebe-se que a curva do FD equivalente é eficiente em mostrar o comportamento da degradação das fachadas ao longo dos anos e é um indicador de simples aplicação, por considerar apenas duas variáveis. Porém o FGD, por considerar os níveis de gravidade, além da importância relativas das anomalias, é um indicador mais detalhado na avaliação da degradação.

Dentre as dificuldades enfrentadas na realização deste estudo, destaca-se a obtenção de amostras com características apropriadas para compor a base de dados. Entre as características destaca-se, o intervalo de idade adequado e o revestimento em argamassa. Uma considerável parcela das edificações em Brasília – DF, nas faixas de idade necessárias para diversificar a base de dados, não apresentavam revestimento em argamassa e sim revestimento cerâmico, o que dificultou na aquisição de dados ao longo da pesquisa. Assim como as ações climáticas, que exigiam um planejamento adequado para a realização da inspeção, tendo em vista que as chuvas e os ventos fortes dificultam a obtenção das amostras com os *drones*.

Por fim, espera-se que este trabalho possa contribuir no estudo da degradação das fachadas com revestimento em argamassa e que os indicadores propostos possam auxiliar na identificação da degradação das fachadas e os níveis de degradação podem auxiliar na avaliação do desempenho e da vida útil do revestimento.

## **8.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

A metodologia utilizada e os resultados encontrado podem ser ampliados e melhorados para um aperfeiçoamento do método proposto. Dessa forma, sugere-se as seguintes considerações para trabalhos futuros:

- Ampliar da base de dados com amostras em outros intervalos de idades para verificar o comportamento dos revestimentos em diferentes faixas;

- Aplicar a metodologia em outros tipos de edificação para ver o comportamento dos indicadores;
- Considerar na análise da degradação os materiais utilizados e todas as intervenções realizadas ao longo do ciclo de vida da edificação;
- Aplicar a metodologia em outros tipos de clima para verificar variação em decorrência da incidência de diferentes agentes de degradação;
- Avaliar o comportamento da propagação da degradação.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERLE, T., KELLER, A. & Zurbriggen, R. Efflorescence – **Mechanisms of formation and ways to prevent**, 2APFAC, 2007.

ADDESSI, D.; GATTA, C.; MARFIA, S.; Sacco, E. Multiscale analysis of in-plane masonry walls accounting for degradation and frictional effects. **International Journal for Multiscale Computational Engineering**, v.18, n.2, 2020.

ANTUNES, G. R. **Estudo de Manifestações Patológicas em Revestimento de Fachada em Brasília – Sistematização da Incidência de Casos**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 001A/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, DF, 178p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR **15575-1 Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR **13749 – Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – Especificações**. Rio de Janeiro, 2013.

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, Associação Brasileira de Cerâmica**, <https://doi.org/10.1590/0366-69132015613581786>, 2015.

BAUER, E. Novas aplicações no estudo da degradação, patologia e previsão de vida útil dos edifícios. **II Congresso Brasileiro de Patologia das Construções**. Belém-PA. Abril de 2016.

BAUER, E., **Relatório Interno - Base de dados de inspeções-** ENC/UnB, 2018.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; PIAZZAROLLO, C. B. Application of the Degradation Measurement Method in the Study of Facade Service Life. In book: **Building Pathology, Durability and Service Life**, 2020.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; PIAZZAROLLO, C. B.; SANTOS, D.G. Relative importance of pathologies in the severity of façade degradation. In book: **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, 2020.

BAUER, E., SOUZA, A.L.R. Failure patterns associated with facade zones and anomalies in the initiation and propagation of degradation. **Construction and Building Materials** 347(2022) 128563. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128563>, 2022.

BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.21, n.4, p.23-43, 2021.

BARRELAS, J., DIAS I. S., SILVA A., BRITO, J., FLORES-COLEN, I. Impact of Environmental Exposure on the Service Life of Façade Claddings—A Statistical Analysis. **Buildings** 2021, 11, 615. <https://doi.org/10.3390/buildings11120615>, 2021.

BREITBACH, A. M. **Avaliação da influência das cores sobre a biodeterioração da pintura externa**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.

BRITO, J. de, SILVA, A. Life Cycle Prediction and Maintenance of Buildings. **Buildings** 2020, 10, 112; doi:10.3390/buildings10060112, 2020.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. BS ISO 15686-1: **Buildings and constructed assets — Service life planning. Part 1: General principles and framework**. London, 2011.

\_\_\_\_\_. BS ISO 15686-2: **Buildings and constructed assets — Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures**. London, 2012.

\_\_\_\_\_. BS ISO 15686-7: **Buildings and constructed assets — Service life planning. Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice**. London, 2017.

\_\_\_\_\_. **BS ISO 15686-11: Buildings and constructed assets — Service life planning. Part 11: Terminology.** London, 2014.

CARASEK, H. **Aderência de Argamassas a Base de Cimento Portland a Substratos Porosos – Avaliação dos Fatores Intervenientes e Contribuição ao Estudo do Mecanismo da Ligação**, Tese de doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 285p. 1996.

CAMPANTE, E. F. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas.** Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001. 407p

CARRETERO-AYUSO, M.J, RODRÍGUEZ-JIMÉNEZ, C.E., BIENVENIDO-HUERTAS D., Moyano, J. J. Interrelations between the types of damages and their original causes in the envelope of buildings, **Journal of Building Engineering.** 39, <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102235>, 2021.

CHAI, C. **Previsão da vida útil de revestimentos de superfícies pintadas em paredes exteriores.** Dissertação para obtenção do grau de mestre em engenharia civil pelo Instituto Superior Técnico de Lisboa. 276p, 2011.

CHAI, C., BRITO, J., GASPAR, P. L., SILVA, A. Predicting the Service Life of Exterior Wall Painting: Techno-Economic Analysis of Alternative Maintenance Strategies. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, 2014.

COSTA F. N. **Processo de produção de revestimento de fachada de argamassa: problemas e oportunidades de melhorias.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre – RS, (2005).

COSTA, M. S. **Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 184 p. 2014.

CÓIAS, V. **Inspeções e Ensaio na Reabilitação de Edifícios.** 2ª Edição, IST Press, Lisboa, 2009.

FERREIRA, C., SILVA, A., BRITO J. de, DIAS I.S., FLORES-COLEN I. The impact of imperfect maintenance actions on the degradation of buildings' envelope componentes. **Journal of Building Engineering**. 33, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101571>, 2021.

FERREIRA, C., BARRELAS, C., SILVA, A., BRITO J. de, DIAS I.S., FLORES-COLEN I. Impact of Environmental Exposure Conditions on the Maintenance of Facades' Claddings. **Buildings** 2021, 11, 138. <https://doi.org/10.3390/buildings11040138>, 2021.

FIORITO, A. J. S. I. **Manual de Argamassas e Revestimento: estudos e procedimentos de execução**. São Paulo: Pini, 1994.

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

FLORES-COLEN, I., BRITO, J, Freitas, V.P. **Técnicas de Diagnóstico e de Manutenção para Remoção de Manchas em Paredes Rebocadas**. APFAC, 2005.

FLORES-COLEN, I., BRITO, J., FREITAS, V. P. Stains in façades' rendering — Diagnosis and maintenance techniques' classification. **Construction and Building Materials**, v. 22, p. 211–221, 2008.

FLORES-COLEN, I. et al. Drying index for in-service physical performance assessment of renders. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 1101-1109, 2016.

GALVÃO, J.; DUARTE, R.; FLORES-COLEN, I.; DE BRITO, J.; HAWREEN, A. Non destructive mechanical and physical in-situ testing of rendered walls under natural exposure. **Construction and Building Materials**, v. 230, 2020.

GASPAR, P. **Metodologia de cálculo da durabilidade de rebocos exteriores correntes**. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2002.

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.; BRITO, J. DE. **Durabilidade, estados limite e vida útil de rebocos em fachadas.** 3º Congresso Português de Argamassas de Construção, Anais..., Lisboa, 2010.

JÚNIOR, A. R. O. **Estudo da degradação de fachadas em argamassa com acabamento em pintura na cidade do Recife.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2020.

LEITE C. **Estrutura de um plano de manutenção de edifício habitacionais.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEP-Porto, 2009.

LOPES, T. **Fenómenos de Pré- Patologia em Manutenção de Edifícios – Aplicação aos revestimentos ETICS.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, FEUP, Porto, 2005.

LOPES, M. L. F., BAUER, E., SILVA L. S. **Utilização de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) para a inspeção e o mapeamento de danos.** Construção – Congresso de Construção Civil, 2022.

LOPES, M. L. F., BAUER, E., **Relatório Interno, Laboratório de Ensaio de Materiais - ENC/UnB,** 2022.

LOPES, M. L. F. **Sistematização do mapeamento de danos para o estudo da degradação de fachadas.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 138p. 2023.

MACÊDO, M. S. P. H. **Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios.** Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 92 p. 2017.

MAGALHÃES, A. C. **Patologia de rebocos antigos.** LNEC, Cadernos de Edifícios, nº 2, outubro, 2002.

MARQUES, F. P. F. M. **Tecnologias de aplicação de pinturas e patologias em paredes de alvenaria e elementos de betão.** Dissertação de Mestrado. Instituto Técnico de Lisboa, 2013.

MOTA, L. M. G. **Estudo da iniciação e da propagação da degradação de fachadas com revestimento em argamassa.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM – 09A/21, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179p, 2021.

MOUSAVI, S.H., SILVA, A., BRITO, J. de, A. Ekhlassi, Hosseini, S.B., **Influence of Design on the Service Life of Indirectly Fastened Natural Stone Cladding, J. Perform. Constr.** Facil 33 04019021, [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0001277](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0001277), 2019.

NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 2016.

OLIVEIRA, V. C. **Análise quantitativa de influência da rugosidade e da área de interface entre substratos cerâmicos e revestimento cimentício na resistência de aderência à tração.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil – Universidade do Vale do Rio Sinos. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2022.

PACHECO, C. P. **Análise das manifestações patológicas nos sistemas de revestimentos externos.** Dissertação de mestrado no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2016.

PEREIRA, F. D. G. **Influência das Variações de Temperatura no Desempenho de Fachadas de Alvenaria.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, 2008.

PEREIRA C., BRITO J. e SILVESTRE J. D. Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings. **Engineering Failure Analysis**, Volume 90, August 2018, Pages 103-115, 2018.

PEREIRA, C.H.A.F. **Contribuição ao Estudo da Fissuração, da Retração e do Mecanismo de Descolamento do Revestimento à Base de Argamassa.** Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação: E.TD – 006 A/07,

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 195p. 2007.

PIAZZAROLLO, C. B. **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. 2019.

POYASTRO, P. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil: UFRGS, Porto Alegre, 2011.

QUINTELA, M. B. O. A. **Durabilidade de revestimentos exteriores de parede em reboco monocamada.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto, 2006.

RAMIREZ, R.; MALJAE, H.; GHIASSI, B.; LOURENÇO, P.; OLIVEIRA, D. Bond behavior degradation between FRP and masonry under aggressive environmental conditions. **Mechanics of Advanced Materials and Structures**, v. 26, p. 6-14, 2019.

SANTOS, D. G. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 27A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 136p. 2018.

SILVA A., De BRITO J., GASPAR P. **Methodologies for service life prediction of buildings: with a focus on façade claddings.** Springer International Publishing, 2016.

SILVA A., PRIETO A.J., Modelling the service life of timber claddings using the factor method. **Journal of Building Engineering**. 37, <https://doi.org/10.1016/j.job.2020.102137>, 2021.

SILVA A., BRITO J. de. Service life of building envelopes: A critical literature review. **Journal of Building Engineering**. 44, <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102646>, 2021.

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. J. C. **Descolamentos dos revestimentos cerâmicos de fachada na cidade do Recife**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SILVESTRE, J. D.; FLORES- COLEN. I. dos S.; Brito, J. De.; **Estratégia de Manutenção Proativa para Juntas de Revestimentos Cerâmicos Aderentes (RCA)**. 1º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, p. 1-12; Lisboa, 2005.

SOCOLOSKI, R.F. **Indicadores para Avaliação de Anomalias em Fachadas com Revestimento de Argamassa**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Construção e Infraestrutura, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021

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

SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. Tese de Doutorado. Universidade de Brasília, 2019.

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



## ANEXO A – DESCRIÇÃO DA BASE DE DADOS

Amostra	Idade	Orientação Real	FD equi. Total	FD	FGD PROPOSTO	FD MANCHA	FD equi. Mancha
A1.PL.1	21	Leste	0,143	0,223	0,012	0,073	0,017
A1.PL.2	21	Leste	0,125	0,338	0,014	0,279	0,067
A1.PL.3	21	Leste	0,101	0,251	0,007	0,176	0,042
A1.PL.4	21	Leste	0,118	0,416	0,013	0,163	0,039
A1.PL.5	21	Leste	0,133	0,235	0,010	0,118	0,028
A1.PL.6	21	Leste	0,170	0,473	0,019	0,393	0,094
A1.PL.7	21	Leste	0,203	0,355	0,026	0,188	0,045
A1.PL.8	21	Leste	0,143	0,143	0,020	0,000	0,000
A1.PL.9	21	Leste	0,023	0,060	0,002	0,048	0,011
A1.PL.10	21	Leste	0,114	0,215	0,009	0,109	0,026
A1.PL.11	21	Leste	0,178	0,243	0,024	0,086	0,021
A1.PL.12	21	Leste	0,143	0,282	0,010	0,183	0,044
A1.PL.13	21	Leste	0,269	0,317	0,037	0,063	0,015
A1.PL.14	21	Leste	0,161	0,217	0,022	0,074	0,018
A1.PL.15	21	Leste	0,334	0,379	0,069	0,050	0,012
A1.PL.16	21	Leste	0,186	0,272	0,025	0,114	0,027
A1.PL.17	21	Leste	0,307	0,371	0,042	0,037	0,009
A1.PL.18	21	Leste	0,060	0,060	0,004	0,000	0,000
A1.PL.19	21	Leste	0,048	0,048	0,003	0,000	0,000
A1.PL.20	21	Leste	0,164	0,331	0,023	0,206	0,049
A1.PL.21	21	Leste	0,309	0,356	0,043	0,052	0,013
A1.PL.22	21	Leste	0,204	0,332	0,026	0,168	0,040
A1.PL.23	21	Leste	0,443	0,554	0,090	0,146	0,035
A1.PL.24	21	Leste	0,338	0,394	0,070	0,074	0,018
A1.PL.25	21	Leste	0,290	0,392	0,039	0,129	0,031
A1.PL.26	21	Leste	0,143	0,312	0,014	0,223	0,053
A1.PL.27	21	Leste	0,222	0,273	0,031	0,067	0,016
A1.PL.28	21	Leste	0,024	0,024	0,002	0,000	0,000
A1.PL.29	21	Leste	0,020	0,083	0,001	0,083	0,020
A1.EN.1	21	Norte	0,049	0,166	0,004	0,150	0,036
A1.ES.1	21	Sul	0,060	0,204	0,005	0,185	0,044
A1.PO.1	21	Oeste	0,163	0,226	0,022	0,076	0,018
A1.PO.2	21	Oeste	0,038	0,038	0,003	0,000	0,000
A1.PO.3	21	Oeste	0,077	0,095	0,006	0,000	0,000
A1.PO.4	21	Oeste	0,317	0,346	0,067	0,008	0,002
A1.PO.5	21	Oeste	0,224	0,303	0,030	0,086	0,021
A1.PO.6	21	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.7	21	Oeste	0,078	0,083	0,006	0,008	0,002
A1.PO.8	21	Oeste	0,159	0,468	0,015	0,199	0,048

<b>Amostra</b>	<b>Idade</b>	<b>Orientação Real</b>	<b>FD equi. Total</b>	<b>FD</b>	<b>FGD PROPOSTO</b>	<b>FD MANCHA</b>	<b>FD equi. Mancha</b>
A1.PO.9	21	Oeste	0,259	0,575	0,036	0,361	0,087
A1.PO.10	21	Oeste	0,248	0,688	0,034	0,102	0,025
A1.PO.11	21	Oeste	0,154	0,201	0,021	0,056	0,013
A1.PO.12	21	Oeste	0,029	0,030	0,003	0,000	0,000
A1.PO.13	21	Oeste	0,021	0,048	0,001	0,000	0,000
A1.PO.14	21	Oeste	0,023	0,023	0,002	0,000	0,000
A1.PO.15	21	Oeste	0,187	0,230	0,026	0,056	0,013
A1.PO.16	21	Oeste	0,012	0,012	0,001	0,000	0,000
A1.PO.17	21	Oeste	0,070	0,076	0,005	0,008	0,002
A1.PO.18	21	Oeste	0,145	0,301	0,011	0,199	0,048
A1.PO.19	21	Oeste	0,138	0,359	0,014	0,216	0,052
A1.PO.20	21	Oeste	0,192	0,597	0,021	0,140	0,034
A1.PO.21	21	Oeste	0,166	0,224	0,022	0,074	0,018
A1.PO.22	21	Oeste	0,076	0,076	0,005	0,000	0,000
A1.PO.23	21	Oeste	0,027	0,071	0,002	0,024	0,006
A1.PO.24	21	Oeste	0,015	0,015	0,001	0,000	0,000
A1.PO.25	21	Oeste	0,176	0,230	0,024	0,066	0,016
A1.PO.26	21	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.27	21	Oeste	0,067	0,068	0,005	0,000	0,000
A2.PL.1	49	Leste	0,213	0,374	0,027	0,184	0,044
A2.PL.2	49	Leste	0,112	0,235	0,008	0,156	0,038
A2.PL.3	49	Leste	0,200	0,363	0,029	0,214	0,051
A2.PL.4	49	Leste	0,155	0,368	0,016	0,263	0,063
A2.PL.5	49	Leste	0,215	0,348	0,028	0,159	0,038
A2.PL.6	49	Leste	0,199	0,370	0,028	0,222	0,053
A2.PL.7	49	Leste	0,205	0,439	0,029	0,307	0,074
A2.PL.8	49	Leste	0,095	0,228	0,007	0,174	0,042
A2.PL.9	49	Leste	0,074	0,215	0,005	0,186	0,045
A2.PL.10	49	Leste	0,202	0,436	0,029	0,308	0,074
A2.PL.11	49	Leste	0,284	0,425	0,037	0,184	0,044
A2.PL.12	49	Leste	0,082	0,235	0,009	0,201	0,048
A2.PL.13	49	Leste	0,098	0,220	0,007	0,161	0,039
A2.PL.14	49	Leste	0,129	0,316	0,013	0,246	0,059
A2.PL.15	49	Leste	0,253	0,378	0,033	0,163	0,039
A2.PL.16	49	Leste	0,194	0,352	0,028	0,207	0,050
A2.PL.17	49	Leste	0,140	0,307	0,014	0,219	0,053
A2.PL.18	49	Leste	0,097	0,198	0,007	0,132	0,032
A2.PL.19	49	Leste	0,108	0,209	0,008	0,134	0,032
A2.PL.20	49	Leste	0,367	0,500	0,073	0,174	0,042
A2.PL.21	49	Leste	0,174	0,358	0,025	0,240	0,058
A2.PL.22	49	Leste	0,170	0,335	0,024	0,218	0,052

<b>Amostra</b>	<b>Idade</b>	<b>Orientação Real</b>	<b>FD equi. Total</b>	<b>FD</b>	<b>FGD PROPOSTO</b>	<b>FD MANCHA</b>	<b>FD equi. Mancha</b>
A2.PL.23	49	Leste	0,146	0,268	0,018	0,161	0,039
A2.PL.24	49	Leste	0,149	0,316	0,014	0,219	0,053
A2.PL.25	49	Leste	0,218	0,374	0,031	0,204	0,049
A2.PL.26	49	Leste	0,243	0,348	0,032	0,137	0,033
A2.PL.27	49	Leste	0,074	0,254	0,009	0,237	0,057
A2.PL.28	49	Leste	0,217	0,299	0,029	0,108	0,026
A2.PL.29	49	Leste	0,297	0,390	0,040	0,122	0,029
A2.PL.30	49	Leste	0,377	0,506	0,051	0,157	0,038
A2.PO.1	49	Oeste	0,292	0,475	0,042	0,235	0,056
A2.PO.2	49	Oeste	0,296	0,458	0,042	0,212	0,051
A2.PO.3	49	Oeste	0,333	0,542	0,043	0,196	0,047
A2.PO.4	49	Oeste	0,204	0,368	0,029	0,211	0,051
A2.PO.5	49	Oeste	0,461	0,611	0,091	0,174	0,042
A2.PO.6	49	Oeste	0,491	0,657	0,101	0,216	0,052
A2.PO.7	49	Oeste	0,147	0,442	0,017	0,389	0,093
A2.PO.8	49	Oeste	0,226	0,395	0,032	0,222	0,053
A2.PO.9	49	Oeste	0,215	0,471	0,031	0,337	0,081
A2.PO.10	49	Oeste	0,127	0,355	0,015	0,297	0,071
A2.PO.11	49	Oeste	0,270	0,436	0,039	0,218	0,052
A2.PO.12	49	Oeste	0,074	0,184	0,005	0,140	0,034
A2.PO.13	49	Oeste	0,103	0,315	0,011	0,238	0,057
A2.PO.14	49	Oeste	0,079	0,246	0,009	0,219	0,053
A2.PO.15	49	Oeste	0,308	0,593	0,044	0,356	0,085
A2.PO.16	49	Oeste	0,342	0,615	0,049	0,344	0,083
A2.PO.17	49	Oeste	0,117	0,237	0,008	0,158	0,038
A2.PO.18	49	Oeste	0,112	0,204	0,008	0,120	0,029
A2.PO.19	49	Oeste	0,058	0,186	0,004	0,169	0,040
A2.PO.20	49	Oeste	0,355	0,529	0,057	0,209	0,050
A2.PO.21	49	Oeste	0,141	0,263	0,011	0,156	0,038
A2.PO.22	49	Oeste	0,163	0,391	0,018	0,296	0,071
A2.PO.23	49	Oeste	0,155	0,333	0,016	0,232	0,056
A2.PO.24	49	Oeste	0,156	0,404	0,017	0,325	0,078
A2.PO.25	49	Oeste	0,332	0,715	0,056	0,500	0,120
A2.PO.26	49	Oeste	0,266	0,741	0,048	0,607	0,146
A2.PO.27	49	Oeste	0,121	0,396	0,016	0,358	0,086
A2.PO.28	49	Oeste	0,110	0,271	0,011	0,212	0,051
A2.PO.29	49	Oeste	0,081	0,244	0,009	0,215	0,052
A2.PO.30	49	Oeste	0,201	0,424	0,029	0,291	0,070
A2.EN.1	49	Norte	0,130	0,409	0,015	0,345	0,083
A2.EN.2	49	Norte	0,297	0,423	0,040	0,165	0,040
A2.EN.3	49	Norte	0,167	0,402	0,018	0,308	0,074

<b>Amostra</b>	<b>Idade</b>	<b>Orientação Real</b>	<b>FD equi. Total</b>	<b>FD</b>	<b>FGD PROPOSTO</b>	<b>FD MANCHA</b>	<b>FD equi. Mancha</b>
A2.ES.1	49	Sul	0,058	0,171	0,004	0,148	0,036
A2.ES.2	49	Sul	0,283	0,392	0,038	0,134	0,032
A2.ES.3	49	Sul	0,048	0,186	0,004	0,180	0,043
A3.PL.1	49	Leste	0,120	0,190	0,010	0,089	0,021
A3.PL.2	49	Leste	0,087	0,168	0,006	0,106	0,025
A3.PL.3	49	Leste	0,034	0,081	0,003	0,060	0,014
A3.PL.4	49	Leste	0,105	0,272	0,011	0,219	0,053
A3.PL.5	49	Leste	0,263	0,370	0,035	0,111	0,027
A3.PL.6	49	Leste	0,243	0,526	0,034	0,355	0,085
A3.PL.7	49	Leste	0,090	0,297	0,012	0,270	0,065
A3.PL.8	49	Leste	0,071	0,108	0,005	0,048	0,012
A3.PL.9	49	Leste	0,120	0,195	0,009	0,098	0,023
A3.PL.10	49	Leste	0,121	0,198	0,009	0,099	0,024
A3.PL.11	49	Leste	0,347	0,464	0,047	0,151	0,036
A3.PL.12	49	Leste	0,156	0,263	0,020	0,140	0,034
A3.PL.13	49	Leste	0,137	0,232	0,017	0,125	0,030
A3.PL.14	49	Leste	0,193	0,360	0,028	0,219	0,053
A3.PL.15	49	Leste	0,306	0,500	0,044	0,256	0,061
A3.PL.16	49	Leste	0,305	0,646	0,044	0,446	0,107
A3.PL.17	49	Leste	0,080	0,193	0,006	0,149	0,036
A3.PL.18	49	Leste	0,106	0,180	0,008	0,096	0,023
A3.PL.19	49	Leste	0,133	0,186	0,018	0,070	0,017
A3.PL.20	49	Leste	0,155	0,267	0,020	0,145	0,035
A3.PL.21	49	Leste	0,201	0,263	0,027	0,078	0,019
A3.PL.22	49	Leste	0,167	0,322	0,024	0,200	0,048
A3.PL.23	49	Leste	0,102	0,238	0,007	0,179	0,043
A3.PL.24	49	Leste	0,124	0,351	0,014	0,298	0,072
A3.PL.25	49	Leste	0,391	0,515	0,053	0,148	0,036
A3.PL.26	49	Leste	0,327	0,474	0,043	0,181	0,044
A3.PL.27	49	Leste	0,128	0,237	0,010	0,140	0,034
A3.PL.28	49	Leste	0,214	0,305	0,028	0,120	0,029
A3.PL.29	49	Leste	0,041	0,134	0,003	0,122	0,029
A3.PL.30	49	Leste	0,202	0,302	0,027	0,128	0,031
A3.PO.1	49	Oeste	0,186	0,425	0,027	0,313	0,075
A3.PO.2	49	Oeste	0,171	0,469	0,019	0,391	0,094
A3.PO.3	49	Oeste	0,152	0,393	0,017	0,315	0,076
A3.PO.4	49	Oeste	0,114	0,421	0,015	0,404	0,097
A3.PO.5	49	Oeste	0,336	0,537	0,048	0,263	0,063
A3.PO.6	49	Oeste	0,299	0,459	0,043	0,211	0,051
A3.PO.7	49	Oeste	0,109	0,456	0,016	0,456	0,109
A3.PO.8	49	Oeste	0,121	0,353	0,014	0,305	0,073

<b>Amostra</b>	<b>Idade</b>	<b>Orientação Real</b>	<b>FD equi. Total</b>	<b>FD</b>	<b>FGD PROPOSTO</b>	<b>FD MANCHA</b>	<b>FD equi. Mancha</b>
A3.PO.9	49	Oeste	0,188	0,453	0,027	0,349	0,084
A3.PO.10	49	Oeste	0,176	0,419	0,018	0,302	0,073
A3.PO.11	49	Oeste	0,324	0,553	0,046	0,302	0,072
A3.PO.12	49	Oeste	0,149	0,464	0,018	0,413	0,099
A3.PO.13	49	Oeste	0,162	0,488	0,019	0,429	0,103
A3.PO.14	49	Oeste	0,134	0,421	0,016	0,377	0,091
A3.PO.15	49	Oeste	0,259	0,467	0,037	0,267	0,064
A3.PO.16	49	Oeste	0,305	0,596	0,044	0,381	0,092
A3.PO.17	49	Oeste	0,195	0,535	0,021	0,439	0,105
A3.PO.18	49	Oeste	0,154	0,382	0,016	0,300	0,072
A3.PO.19	49	Oeste	0,144	0,412	0,016	0,353	0,085
A3.PO.20	49	Oeste	0,341	0,629	0,049	0,377	0,091
A3.PO.21	49	Oeste	0,160	0,436	0,018	0,363	0,087
A3.PO.22	49	Oeste	0,104	0,363	0,013	0,341	0,082
A3.PO.23	49	Oeste	0,199	0,565	0,022	0,482	0,116
A3.PO.24	49	Oeste	0,286	0,693	0,050	0,535	0,128
A3.PO.25	49	Oeste	0,227	0,581	0,032	0,467	0,112
A3.PO.26	49	Oeste	0,341	0,719	0,049	0,496	0,119
A3.PO.27	49	Oeste	0,210	0,596	0,032	0,509	0,122
A3.PO.28	49	Oeste	0,237	0,601	0,034	0,480	0,115
A3.PO.29	49	Oeste	0,191	0,543	0,022	0,463	0,111
A3.PO.30	49	Oeste	0,208	0,640	0,034	0,562	0,135
A3.EN.1	49	Norte	0,056	0,233	0,008	0,228	0,055
A3.EN.2	49	Norte	0,356	0,644	0,051	0,378	0,091
A3.EN.3	49	Norte	0,089	0,215	0,006	0,163	0,039
A3.ES.1	49	Sul	0,066	0,202	0,005	0,179	0,043
A3.ES.2	49	Sul	0,229	0,360	0,030	0,163	0,039
A3.ES.3	49	Sul	0,112	0,225	0,008	0,147	0,035
A4.PL.1	21	Leste	0,330	0,403	0,067	0,076	0,018
A4.PL.2	21	Leste	0,372	0,488	0,074	0,088	0,021
A4.PL.3	21	Leste	0,364	0,488	0,072	0,094	0,023
A4.PO.1	21	Oeste	0,393	0,466	0,081	0,057	0,014
A4.PO.2	21	Oeste	0,404	0,543	0,080	0,087	0,021
A4.PO.3	21	Oeste	0,403	0,429	0,085	0,029	0,007
A4.EN.1	21	Norte	0,674	1,134	0,180	0,032	0,008
A4.ES.1	21	Sul	0,042	0,048	0,003	0,008	0,002
A5.PN.1	49	Norte	0,698	1,050	0,182	0,403	0,097
A5.PN.2	49	Norte	0,730	1,185	0,194	0,535	0,129
A5.PN.3	49	Norte	0,699	1,174	0,174	0,451	0,108
A5.PS.1	49	Sul	0,623	1,009	0,122	0,393	0,094
A5.PS.2	49	Sul	0,602	1,094	0,116	0,350	0,084

<b>Amostra</b>	<b>Idade</b>	<b>Orientação Real</b>	<b>FD equi. Total</b>	<b>FD</b>	<b>FGD PROPOSTO</b>	<b>FD MANCHA</b>	<b>FD equi. Mancha</b>
A5.PS.3	49	Sul	0,823	1,305	0,204	0,395	0,095
A4.EL.15	49	Leste	0,579	0,989	0,114	0,308	0,074
A5.EO.1	49	Oeste	1,014	1,741	0,260	0,370	0,089
A6.PN.1	48	Norte	0,889	1,432	0,236	0,110	0,026
A6.PN.2	48	Norte	0,885	1,307	0,228	0,153	0,037
A6.PN.3	48	Norte	0,913	1,438	0,244	0,102	0,024
A6.PS.1	48	Sul	0,796	1,171	0,208	0,047	0,011
A6.PS.2	48	Sul	0,928	1,666	0,244	0,079	0,019
A6.PS.3	48	Sul	0,947	1,619	0,252	0,052	0,012
A7.PL.1	60	Leste	0,328	0,607	0,046	0,338	0,081
A7.PL.2	60	Leste	0,177	0,354	0,025	0,227	0,054
A7.PO.1	60	Oeste	0,081	0,121	0,006	0,051	0,012
A7.PO.2	60	Oeste	0,119	0,183	0,009	0,077	0,018
A7.PO.3	60	Oeste	0,141	0,183	0,019	0,051	0,012
A7.PO.4	60	Oeste	0,137	0,198	0,018	0,081	0,019
A7.ES.1	60	Sul	0,076	0,200	0,005	0,163	0,039
A7.EN.1	60	Norte	0,219	0,533	0,030	0,360	0,086
A8.PL.1	52	Leste	0,650	1,051	0,164	0,336	0,081
A8.PL.2	52	Leste	0,452	0,775	0,086	0,258	0,062
A8.PO.1	52	Oeste	0,536	0,808	0,108	0,320	0,077
A8.PO.2	52	Oeste	0,520	0,881	0,102	0,395	0,095
A9.PL.1	52	Leste	0,230	0,317	0,031	0,071	0,017
A9.PL.2	52	Leste	0,221	0,332	0,029	0,075	0,018
A9.PL.3	52	Leste	0,106	0,226	0,008	0,067	0,016
A9.PL.4	52	Leste	0,277	0,323	0,039	0,048	0,011
A9.PL.5	52	Leste	0,221	0,322	0,029	0,087	0,021
A9.PL.6	52	Leste	0,186	0,266	0,025	0,078	0,019
A9.PO.1	52	Oeste	0,353	0,526	0,046	0,123	0,029
A9.PO.2	52	Oeste	0,310	0,481	0,040	0,126	0,030
A9.PO.3	52	Oeste	0,272	0,440	0,035	0,142	0,034
A9.PO.4	52	Oeste	0,397	0,586	0,076	0,164	0,039
A9.PO.5	52	Oeste	0,301	0,458	0,039	0,167	0,040
A9.ES.1	52	Sul	0,785	1,211	0,214	0,531	0,127
A10.PO.1	44	Oeste	0,170	0,208	0,023	0,047	0,011
A10.PO.2	44	Oeste	0,095	0,129	0,007	0,045	0,011
A11.PL.1	35	Leste	0,240	0,429	0,030	0,150	0,036
A11.PL.2	35	Leste	0,238	0,297	0,033	0,056	0,013
A11.EN.1	35	Norte	0,181	0,181	0,026	0,000	0,000
A12.PO.1	44	Oeste	0,288	0,433	0,038	0,019	0,005
A13.EN.1	50	Norte	0,231	0,842	0,043	0,782	0,188

<b>Amostra</b>	<b>Idade</b>	<b>Orientação Real</b>	<b>FD equi. Total</b>	<b>FD</b>	<b>FGD PROPOSTO</b>	<b>FD MANCHA</b>	<b>FD equi. Mancha</b>
A13.ES.1	50	Sul	0,242	0,478	0,033	0,222	0,053
A13.PO.1.1	50	Oeste	0,121	0,417	0,015	0,390	0,094
A13.PO.1.2	50	Oeste	0,147	0,616	0,031	0,607	0,146
A13.PO.1.3	50	Oeste	0,162	0,573	0,030	0,541	0,130
A13.PO.2.1	50	Oeste	0,131	0,557	0,028	0,543	0,130
A13.PO.2.2	50	Oeste	0,217	0,775	0,041	0,734	0,176
A13.PO.2.3	50	Oeste	0,046	0,049	0,003	0,000	0,000
A13.PO.3.1	50	Oeste	0,170	0,707	0,036	0,707	0,170
A13.PO.3.2	50	Oeste	0,233	0,938	0,048	0,928	0,223
A13.PL.1.1	50	Leste	0,100	0,268	0,011	0,220	0,053
A13.PL.1.2	50	Leste	0,081	0,337	0,012	0,337	0,081
A13.PL.1.3	50	Leste	0,071	0,250	0,009	0,229	0,055
A13.PL.2	50	Leste	0,081	0,309	0,011	0,299	0,072
A13.PL.3.1	50	Leste	0,067	0,272	0,010	0,270	0,065
A13.PL.3.2	50	Leste	0,056	0,204	0,005	0,193	0,046
A14.ES.1	50	Sul	0,182	0,679	0,034	0,590	0,142
A14.EN.2	50	Norte	0,435	0,824	0,093	0,507	0,122
A14.PL.1.1	50	Leste	0,040	0,114	0,003	0,097	0,023
A14.PL.1.2	50	Leste	0,058	0,168	0,005	0,100	0,024
A14.PL.1.3	50	Leste	0,033	0,131	0,003	0,128	0,031
A14.PL.2.1	50	Leste	0,121	0,254	0,009	0,174	0,042
A14.PL.2.2	50	Leste	0,085	0,331	0,011	0,292	0,070
A14.PL.2.3	50	Leste	0,074	0,223	0,005	0,196	0,047
A14.PL.3.1	50	Leste	0,061	0,247	0,009	0,243	0,058
A14.PL.3.2	50	Leste	0,104	0,353	0,014	0,325	0,078
A14.PO.1.1	50	Oeste	0,027	0,094	0,002	0,083	0,020
A14.PO.1.2	50	Oeste	0,099	0,358	0,014	0,339	0,081
A14.PO.1.3	50	Oeste	0,035	0,114	0,003	0,103	0,025
A14.PO.2.1	50	Oeste	0,079	0,263	0,010	0,240	0,058
A14.PO.2.2	50	Oeste	0,090	0,213	0,008	0,157	0,038
A15.P1.1	12	Oeste	0,008	0,035	0,001	0,035	0,008
A15.P1.2	12	Oeste	0,017	0,052	0,001	0,045	0,011
A15.P1.3	12	Oeste	0,013	0,048	0,001	0,046	0,011
A15.P1.4	12	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P1.5	12	Oeste	0,016	0,036	0,001	0,027	0,006
A15.P1.6	12	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P2.1	12	Leste	0,019	0,077	0,001	0,077	0,019
A15.P2.2	12	Leste	0,008	0,035	0,001	0,035	0,008
A15.P2.3	12	Leste	0,017	0,037	0,001	0,027	0,006
A15.P2.4	12	Leste	0,037	0,043	0,003	0,008	0,002
A15.E1.1	12	Norte	0,053	0,053	0,004	0,000	0,000

Amostra	Idade	Orientação Real	FD equi. Total	FD	FGD PROPOSTO	FD MANCHA	FD equi. Mancha
A15.E1.2	12	Norte	0,055	0,055	0,004	0,000	0,000
A15.E2.1	12	Sul	0,019	0,030	0,001	0,000	0,000
A15.E2.2	12	Sul	0,021	0,045	0,002	0,000	0,000
A16.E	11	Sul	0,081	0,151	0,006	0,071	0,017
A16.E	11	Norte	0,064	0,139	0,005	0,080	0,019
A16.P1.1	11	Leste	0,015	0,071	0,001	0,060	0,014
A16.P1.2	11	Leste	0,010	0,025	0,001	0,020	0,005
A.17.1	46	Oeste	0,212	0,550	0,023	0,439	0,105
A17.2	46	Oeste	0,255	0,581	0,036	0,417	0,100
A17.3	46	Oeste	0,221	0,655	0,036	0,570	0,137
A17.4	46	Leste	0,210	0,549	0,023	0,445	0,107
A17.5	46	Leste	0,236	0,586	0,034	0,460	0,110
A17.6	46	Leste	0,251	0,650	0,045	0,524	0,126

### CONTINUAÇÃO DA BASE DE DANOS – INDICADORES POR ANOMALIAS

Amostra	Idade	Orientação Real	FDfis	FD equi. Fissura	FDano. Pint.	FD equi. An Pintu	FDdesc	FDequi. Desc
A1.PL.1	21	Leste	0,097	0,097	0,028	0,007	0,024	0,021
A1.PL.2	21	Leste	0,054	0,054	0,000	0,000	0,005	0,004
A1.PL.3	21	Leste	0,053	0,053	0,022	0,006	0,000	0,000
A1.PL.4	21	Leste	0,021	0,021	0,232	0,058	0,000	0,000
A1.PL.5	21	Leste	0,094	0,094	0,016	0,004	0,008	0,007
A1.PL.6	21	Leste	0,075	0,075	0,005	0,001	0,000	0,000
A1.PL.7	21	Leste	0,155	0,155	0,012	0,003	0,000	0,000
A1.PL.8	21	Leste	0,143	0,143	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.9	21	Leste	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.10	21	Leste	0,076	0,076	0,023	0,006	0,007	0,006
A1.PL.11	21	Leste	0,157	0,157	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.12	21	Leste	0,099	0,099	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.13	21	Leste	0,254	0,254	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.14	21	Leste	0,143	0,143	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.15	21	Leste	0,313	0,313	0,008	0,002	0,008	0,007
A1.PL.16	21	Leste	0,158	0,158	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.17	21	Leste	0,277	0,277	0,045	0,011	0,011	0,010
A1.PL.18	21	Leste	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.19	21	Leste	0,048	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.20	21	Leste	0,101	0,101	0,012	0,003	0,012	0,010
A1.PL.21	21	Leste	0,288	0,288	0,007	0,002	0,007	0,006
A1.PL.22	21	Leste	0,163	0,163	0,000	0,000	0,000	0,000



Amostra	Idade	Orientação Real	FDfis	FD equi. Fissura	FDano. Pint.	FD equi. An Pintu	FDdesc	FDequi. Desc
A1.PL.23	21	Leste	0,408	0,408	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.24	21	Leste	0,320	0,320	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.25	21	Leste	0,254	0,254	0,004	0,001	0,004	0,004
A1.PL.26	21	Leste	0,089	0,089	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.27	21	Leste	0,206	0,206	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.28	21	Leste	0,024	0,024	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PL.29	21	Leste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.EN.1	21	Norte	0,000	0,000	0,002	0,001	0,015	0,013
A1.ES.1	21	Sul	0,000	0,000	0,000	0,000	0,019	0,016
A1.PO.1	21	Oeste	0,140	0,140	0,007	0,002	0,003	0,002
A1.PO.2	21	Oeste	0,038	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.3	21	Oeste	0,071	0,071	0,024	0,006	0,000	0,000
A1.PO.4	21	Oeste	0,308	0,308	0,031	0,008	0,000	0,000
A1.PO.5	21	Oeste	0,188	0,188	0,015	0,004	0,014	0,012
A1.PO.6	21	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.7	21	Oeste	0,076	0,076	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.8	21	Oeste	0,054	0,054	0,210	0,052	0,005	0,005
A1.PO.9	21	Oeste	0,143	0,143	0,052	0,013	0,020	0,017
A1.PO.10	21	Oeste	0,102	0,102	0,484	0,121	0,000	0,000
A1.PO.11	21	Oeste	0,139	0,139	0,006	0,001	0,000	0,000
A1.PO.12	21	Oeste	0,023	0,023	0,000	0,000	0,008	0,007
A1.PO.13	21	Oeste	0,012	0,012	0,036	0,009	0,000	0,000
A1.PO.14	21	Oeste	0,023	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.15	21	Oeste	0,174	0,174	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.16	21	Oeste	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.17	21	Oeste	0,068	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.18	21	Oeste	0,091	0,091	0,005	0,001	0,005	0,005
A1.PO.19	21	Oeste	0,058	0,058	0,073	0,018	0,012	0,010
A1.PO.20	21	Oeste	0,059	0,059	0,398	0,099	0,000	0,000
A1.PO.21	21	Oeste	0,146	0,146	0,001	0,000	0,003	0,002
A1.PO.22	21	Oeste	0,076	0,076	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.23	21	Oeste	0,012	0,012	0,036	0,009	0,000	0,000
A1.PO.24	21	Oeste	0,015	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.25	21	Oeste	0,158	0,158	0,006	0,001	0,000	0,000
A1.PO.26	21	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A1.PO.27	21	Oeste	0,061	0,061	0,000	0,000	0,008	0,007
A2.PL.1	49	Leste	0,162	0,162	0,028	0,007	0,000	0,000
A2.PL.2	49	Leste	0,073	0,073	0,006	0,001	0,000	0,000
A2.PL.3	49	Leste	0,149	0,149	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.4	49	Leste	0,088	0,088	0,018	0,004	0,000	0,000

Amostra	Idade	Orientação Real	FDfis	FD equi. Fissura	FDano. Pint.	FD equi. An Pintu	FDdesc	FDequi. Desc
A2.PL.5	49	Leste	0,167	0,167	0,015	0,004	0,007	0,006
A2.PL.6	49	Leste	0,144	0,144	0,004	0,001	0,000	0,000
A2.PL.7	49	Leste	0,132	0,132	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.8	49	Leste	0,048	0,048	0,000	0,000	0,006	0,005
A2.PL.9	49	Leste	0,029	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.10	49	Leste	0,128	0,128	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.11	49	Leste	0,235	0,235	0,000	0,000	0,006	0,005
A2.PL.12	49	Leste	0,034	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.13	49	Leste	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.14	49	Leste	0,070	0,070	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.15	49	Leste	0,207	0,207	0,000	0,000	0,007	0,006
A2.PL.16	49	Leste	0,144	0,144	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.17	49	Leste	0,088	0,088	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.18	49	Leste	0,066	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.19	49	Leste	0,076	0,076	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.20	49	Leste	0,326	0,326	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.21	49	Leste	0,112	0,112	0,000	0,000	0,006	0,005
A2.PL.22	49	Leste	0,117	0,117	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.23	49	Leste	0,107	0,107	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.24	49	Leste	0,096	0,096	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.25	49	Leste	0,163	0,163	0,000	0,000	0,007	0,006
A2.PL.26	49	Leste	0,207	0,207	0,000	0,000	0,004	0,003
A2.PL.27	49	Leste	0,018	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.28	49	Leste	0,192	0,192	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.29	49	Leste	0,267	0,267	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PL.30	49	Leste	0,279	0,279	0,000	0,000	0,070	0,060
A2.PO.1	49	Oeste	0,207	0,207	0,000	0,000	0,034	0,029
A2.PO.2	49	Oeste	0,240	0,240	0,000	0,000	0,006	0,005
A2.PO.3	49	Oeste	0,208	0,208	0,065	0,016	0,071	0,061
A2.PO.4	49	Oeste	0,123	0,123	0,000	0,000	0,035	0,030
A2.PO.5	49	Oeste	0,404	0,404	0,022	0,006	0,011	0,010
A2.PO.6	49	Oeste	0,427	0,427	0,000	0,000	0,014	0,012
A2.PO.7	49	Oeste	0,053	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PO.8	49	Oeste	0,168	0,168	0,000	0,000	0,006	0,005
A2.PO.9	49	Oeste	0,134	0,134	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PO.10	49	Oeste	0,041	0,041	0,000	0,000	0,017	0,015
A2.PO.11	49	Oeste	0,218	0,218	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PO.12	49	Oeste	0,039	0,039	0,006	0,001	0,000	0,000
A2.PO.13	49	Oeste	0,036	0,036	0,042	0,010	0,000	0,000
A2.PO.14	49	Oeste	0,026	0,026	0,000	0,000	0,000	0,000

Amostra	Idade	Orientação Real	FDfis	FD equi. Fissura	FDano. Pint.	FD equi. An Pintu	FDdesc	FDequi. Desc
A2.PO.15	49	Oeste	0,181	0,181	0,011	0,003	0,044	0,038
A2.PO.16	49	Oeste	0,237	0,237	0,011	0,003	0,022	0,019
A2.PO.17	49	Oeste	0,079	0,079	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PO.18	49	Oeste	0,078	0,078	0,000	0,000	0,006	0,005
A2.PO.19	49	Oeste	0,017	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PO.20	49	Oeste	0,215	0,215	0,000	0,000	0,105	0,090
A2.PO.21	49	Oeste	0,089	0,089	0,000	0,000	0,017	0,014
A2.PO.22	49	Oeste	0,073	0,073	0,000	0,000	0,022	0,019
A2.PO.23	49	Oeste	0,089	0,089	0,000	0,000	0,012	0,010
A2.PO.24	49	Oeste	0,070	0,070	0,000	0,000	0,009	0,008
A2.PO.25	49	Oeste	0,193	0,193	0,000	0,000	0,022	0,019
A2.PO.26	49	Oeste	0,107	0,107	0,015	0,004	0,011	0,010
A2.PO.27	49	Oeste	0,019	0,019	0,000	0,000	0,019	0,016
A2.PO.28	49	Oeste	0,059	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PO.29	49	Oeste	0,029	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.PO.30	49	Oeste	0,116	0,116	0,000	0,000	0,017	0,015
A2.EN.1	49	Norte	0,041	0,041	0,023	0,006	0,000	0,000
A2.EN.2	49	Norte	0,258	0,258	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.EN.3	49	Norte	0,086	0,086	0,000	0,000	0,008	0,007
A2.ES.1	49	Sul	0,023	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000
A2.ES.2	49	Sul	0,206	0,206	0,000	0,000	0,052	0,044
A2.ES.3	49	Sul	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,005
A3.PL.1	49	Leste	0,084	0,084	0,000	0,000	0,017	0,014
A3.PL.2	49	Leste	0,061	0,061	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.3	49	Leste	0,013	0,013	0,000	0,000	0,007	0,006
A3.PL.4	49	Leste	0,053	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.5	49	Leste	0,222	0,222	0,030	0,007	0,007	0,006
A3.PL.6	49	Leste	0,147	0,147	0,016	0,004	0,008	0,007
A3.PL.7	49	Leste	0,014	0,014	0,000	0,000	0,014	0,012
A3.PL.8	49	Leste	0,054	0,054	0,000	0,000	0,006	0,005
A3.PL.9	49	Leste	0,086	0,086	0,000	0,000	0,011	0,010
A3.PL.10	49	Leste	0,087	0,087	0,000	0,000	0,012	0,010
A3.PL.11	49	Leste	0,296	0,296	0,000	0,000	0,017	0,014
A3.PL.12	49	Leste	0,123	0,123	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.13	49	Leste	0,107	0,107	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.14	49	Leste	0,140	0,140	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.15	49	Leste	0,244	0,244	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.16	49	Leste	0,188	0,188	0,000	0,000	0,011	0,010
A3.PL.17	49	Leste	0,044	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.18	49	Leste	0,078	0,078	0,000	0,000	0,006	0,005

Amostra	Idade	Orientação Real	FDfis	FD equi. Fissura	FDano. Pint.	FD equi. An Pintu	FDdesc	FDequi. Desc
A3.PL.19	49	Leste	0,116	0,116	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.20	49	Leste	0,110	0,110	0,000	0,000	0,012	0,010
A3.PL.21	49	Leste	0,168	0,168	0,000	0,000	0,017	0,014
A3.PL.22	49	Leste	0,104	0,104	0,000	0,000	0,017	0,015
A3.PL.23	49	Leste	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.24	49	Leste	0,053	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.25	49	Leste	0,289	0,289	0,000	0,000	0,078	0,067
A3.PL.26	49	Leste	0,259	0,259	0,007	0,002	0,026	0,022
A3.PL.27	49	Leste	0,079	0,079	0,000	0,000	0,018	0,015
A3.PL.28	49	Leste	0,180	0,180	0,000	0,000	0,006	0,005
A3.PL.29	49	Leste	0,012	0,012	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PL.30	49	Leste	0,151	0,151	0,000	0,000	0,023	0,020
A3.PO.1	49	Oeste	0,106	0,106	0,000	0,000	0,006	0,005
A3.PO.2	49	Oeste	0,073	0,073	0,000	0,000	0,006	0,005
A3.PO.3	49	Oeste	0,071	0,071	0,000	0,000	0,006	0,005
A3.PO.4	49	Oeste	0,018	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.5	49	Oeste	0,267	0,267	0,000	0,000	0,007	0,006
A3.PO.6	49	Oeste	0,248	0,248	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.7	49	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.8	49	Oeste	0,048	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.9	49	Oeste	0,105	0,105	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.10	49	Oeste	0,099	0,099	0,017	0,004	0,000	0,000
A3.PO.11	49	Oeste	0,251	0,251	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.12	49	Oeste	0,050	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.13	49	Oeste	0,060	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.14	49	Oeste	0,044	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.15	49	Oeste	0,167	0,167	0,000	0,000	0,033	0,029
A3.PO.16	49	Oeste	0,207	0,207	0,000	0,000	0,007	0,006
A3.PO.17	49	Oeste	0,088	0,088	0,009	0,002	0,000	0,000
A3.PO.18	49	Oeste	0,082	0,082	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.19	49	Oeste	0,059	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.20	49	Oeste	0,246	0,246	0,000	0,000	0,006	0,005
A3.PO.21	49	Oeste	0,073	0,073	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.22	49	Oeste	0,022	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.23	49	Oeste	0,083	0,083	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.24	49	Oeste	0,158	0,158	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.25	49	Oeste	0,115	0,115	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.26	49	Oeste	0,222	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.27	49	Oeste	0,088	0,088	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.28	49	Oeste	0,121	0,121	0,000	0,000	0,000	0,000

Amostra	Idade	Orientação Real	FDfis	FD equi. Fissura	FDano. Pint.	FD equi. An Pintu	FDdesc	FDequi. Desc
A3.PO.29	49	Oeste	0,080	0,080	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.PO.30	49	Oeste	0,067	0,067	0,006	0,001	0,006	0,005
A3.EN.1	49	Norte	0,000	0,000	0,005	0,001	0,000	0,000
A3.EN.2	49	Norte	0,256	0,256	0,000	0,000	0,011	0,010
A3.EN.3	49	Norte	0,049	0,049	0,003	0,001	0,000	0,000
A3.ES.1	49	Sul	0,023	0,023	0,000	0,000	0,000	0,000
A3.ES.2	49	Sul	0,140	0,140	0,000	0,000	0,058	0,050
A3.ES.3	49	Sul	0,070	0,070	0,000	0,000	0,008	0,007
A4.PL.1	21	Leste	0,305	0,305	0,021	0,005	0,001	0,001
A4.PL.2	21	Leste	0,328	0,328	0,065	0,016	0,007	0,006
A4.PL.3	21	Leste	0,314	0,314	0,069	0,017	0,012	0,010
A4.PO.1	21	Oeste	0,367	0,367	0,040	0,010	0,003	0,003
A4.PO.2	21	Oeste	0,355	0,355	0,095	0,024	0,006	0,005
A4.PO.3	21	Oeste	0,388	0,388	0,003	0,001	0,009	0,007
A4.EN.1	21	Norte	0,519	0,519	0,582	0,145	0,002	0,002
A4.ES.1	21	Sul	0,040	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000
A5.PN.1	49	Norte	0,583	0,583	0,060	0,015	0,004	0,003
A5.PN.2	49	Norte	0,574	0,574	0,062	0,015	0,014	0,012
A5.PN.3	49	Norte	0,537	0,537	0,174	0,044	0,012	0,010
A5.PS.1	49	Sul	0,484	0,484	0,114	0,028	0,019	0,016
A5.PS.2	49	Sul	0,415	0,415	0,295	0,074	0,034	0,029
A5.PS.3	49	Sul	0,607	0,607	0,229	0,057	0,074	0,063
A4.EL.15	49	Leste	0,433	0,433	0,231	0,058	0,016	0,014
A5.EO.1	49	Oeste	0,735	0,735	0,585	0,146	0,050	0,043
A6.PN.1	48	Norte	0,699	0,699	0,610	0,152	0,014	0,012
A6.PN.2	48	Norte	0,731	0,731	0,403	0,101	0,019	0,016
A6.PN.3	48	Norte	0,731	0,731	0,595	0,149	0,010	0,009
A6.PS.1	48	Sul	0,664	0,664	0,449	0,112	0,010	0,009
A6.PS.2	48	Sul	0,674	0,674	0,902	0,225	0,010	0,009
A6.PS.3	48	Sul	0,717	0,717	0,841	0,210	0,009	0,007
A7.PL.1	60	Leste	0,239	0,239	0,029	0,007	0,002	0,002
A7.PL.2	60	Leste	0,121	0,121	0,006	0,001	0,000	0,000
A7.PO.1	60	Oeste	0,066	0,066	0,000	0,000	0,004	0,003
A7.PO.2	60	Oeste	0,095	0,095	0,007	0,002	0,004	0,003
A7.PO.3	60	Oeste	0,128	0,128	0,004	0,001	0,000	0,000
A7.PO.4	60	Oeste	0,117	0,117	0,000	0,000	0,000	0,000
A7.ES.1	60	Sul	0,037	0,037	0,000	0,000	0,000	0,000
A7.EN.1	60	Norte	0,119	0,119	0,055	0,014	0,000	0,000
A8.PL.1	52	Leste	0,521	0,521	0,194	0,049	0,000	0,000
A8.PL.2	52	Leste	0,348	0,348	0,169	0,042	0,000	0,000

Amostra	Idade	Orientação Real	FDfis	FD equi. Fissura	FDano. Pint.	FD equi. An Pintu	FDdesc	FDequi. Desc
A8.PO.1	52	Oeste	0,450	0,450	0,039	0,010	0,000	0,000
A8.PO.2	52	Oeste	0,405	0,405	0,081	0,020	0,000	0,000
A9.PL.1	52	Leste	0,202	0,202	0,044	0,011	0,000	0,000
A9.PL.2	52	Leste	0,185	0,185	0,072	0,018	0,000	0,000
A9.PL.3	52	Leste	0,067	0,067	0,093	0,023	0,000	0,000
A9.PL.4	52	Leste	0,263	0,263	0,012	0,003	0,000	0,000
A9.PL.5	52	Leste	0,188	0,188	0,047	0,012	0,000	0,000
A9.PL.6	52	Leste	0,160	0,160	0,027	0,007	0,000	0,000
A9.PO.1	52	Oeste	0,297	0,297	0,106	0,026	0,000	0,000
A9.PO.2	52	Oeste	0,255	0,255	0,100	0,025	0,000	0,000
A9.PO.3	52	Oeste	0,218	0,218	0,080	0,020	0,000	0,000
A9.PO.4	52	Oeste	0,336	0,336	0,086	0,022	0,000	0,000
A9.PO.5	52	Oeste	0,251	0,251	0,040	0,010	0,000	0,000
A9.ES.1	52	Sul	0,650	0,650	0,031	0,008	0,000	0,000
A10.PO.1	44	Oeste	0,158	0,158	0,004	0,001	0,000	0,000
A10.PO.2	44	Oeste	0,084	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000
A11.PL.1	35	Leste	0,179	0,179	0,100	0,025	0,000	0,000
A11.PL.2	35	Leste	0,219	0,219	0,022	0,006	0,000	0,000
A11.EN.1	35	Norte	0,181	0,181	0,000	0,000	0,000	0,000
A12.PO.1	44	Oeste	0,240	0,240	0,173	0,043	0,000	0,000
A13.EN.1	50	Norte	0,036	0,036	0,021	0,005	0,002	0,002
A13.ES.1	50	Sul	0,160	0,160	0,090	0,022	0,006	0,005
A13.PO.1.1	50	Oeste	0,028	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000
A13.PO.1.2	50	Oeste	0,002	0,002	0,007	0,000	0,000	0,000
A13.PO.1.3	50	Oeste	0,033	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000
A13.PO.2.1	50	Oeste	0,000	0,000	0,014	0,001	0,000	0,000
A13.PO.2.2	50	Oeste	0,041	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000
A13.PO.2.3	50	Oeste	0,046	0,046	0,003	0,000	0,000	0,000
A13.PO.3.1	50	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A13.PO.3.2	50	Oeste	0,011	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000
A13.PL.1.1	50	Leste	0,048	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000
A13.PL.1.2	50	Leste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A13.PL.1.3	50	Leste	0,016	0,016	0,005	0,000	0,000	0,000
A13.PL.2	50	Leste	0,009	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000
A13.PL.3.1	50	Leste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002
A13.PL.3.2	50	Leste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,009
A14.ES.1	50	Sul	0,036	0,036	0,052	0,004	0,000	0,000
A14.EN.2	50	Norte	0,307	0,307	0,002	0,000	0,007	0,006
A14.PL.1.1	50	Leste	0,014	0,014	0,000	0,000	0,003	0,002
A14.PL.1.2	50	Leste	0,028	0,028	0,037	0,003	0,003	0,002

Amostra	Idade	Orientação Real	FDfis	FD equi. Fissura	FDano. Pint.	FD equi. An Pintu	FDdesc	FDequi. Desc
A14.PL.1.3	50	Leste		0,000	0,000	0,000	0,002	0,002
A14.PL.2.1	50	Leste	0,074	0,074	0,000	0,000	0,007	0,006
A14.PL.2.2	50	Leste	0,013	0,013	0,026	0,002	0,000	0,000
A14.PL.2.3	50	Leste	0,027	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000
A14.PL.3.1	50	Leste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003
A14.PL.3.2	50	Leste	0,012	0,012	0,000	0,000	0,015	0,013
A14.PO.1.1	50	Oeste	0,000	0,000	0,003	0,000	0,008	0,007
A14.PO.1.2	50	Oeste	0,008	0,008	0,000	0,000	0,011	0,009
A14.PO.1.3	50	Oeste	0,006	0,006	0,000	0,000	0,006	0,005
A14.PO.2.1	50	Oeste	0,018	0,018	0,000	0,000	0,005	0,004
A14.PO.2.2	50	Oeste	0,032	0,032	0,000	0,000	0,024	0,021
A15.P1.1	12	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P1.2	12	Oeste	0,006	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P1.3	12	Oeste	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P1.4	12	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P1.5	12	Oeste	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P1.6	12	Oeste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P2.1	12	Leste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P2.2	12	Leste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P2.3	12	Leste	0,011	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.P2.4	12	Leste	0,035	0,035	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.E1.1	12	Norte	0,053	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.E1.2	12	Norte	0,055	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000
A15.E2.1	12	Sul	0,018	0,018	0,013	0,001	0,000	0,000
A15.E2.2	12	Sul	0,019	0,019	0,026	0,002	0,000	0,000
A16.E	11	Sul	0,063	0,063	0,017	0,001	0,000	0,000
A16.E	11	Norte	0,043	0,043	0,015	0,001	0,000	0,000
A16.P1.1	11	Leste	0,000	0,000	0,011	0,001	0,000	0,000
A16.P1.2	11	Leste	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
A.17.1	46	Oeste	0,100	0,100	0,004	0,000	0,007	0,006
A17.2	46	Oeste	0,118	0,118	0,004	0,000	0,042	0,036
A17.3	46	Oeste	0,083	0,083	0,000	0,000	0,002	0,002
A17.4	46	Leste	0,098	0,098	0,000	0,000	0,006	0,005
A17.5	46	Leste	0,126	0,126	0,000	0,000	0,000	0,000
A17.6	46	Leste	0,121	0,121	0,000	0,000	0,005	0,004

## ANEXO B – CENÁRIOS DAS SIMULAÇÕES

CENÁRIO 01					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	50	0,5	0,500	4	1
Área de mancha	10	0,1	0,024	1	0,24
Área de Desc.	10	0,1	0,086	3	0,86
Área de Ano. Pint	10	0,1	0,025	1	0,25
<b>FD Total</b>		<b>0,8</b>		-	
<b>FDequi Total</b>		-	<b>0,636</b>		
<b>FGD</b>					0,165

- Área de fissura
- Área de mancha
- Área de Desc.
- Área de Ano. Pint

CENÁRIO 02					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	50	0,5	0,500	4	1
Área de mancha	30	0,3	0,073	2	0,24
Área de Desc.	5	0,05	0,043	2	0,86
Área de Ano. Pint	5	0,05	0,013	1	0,25
<b>FD Total</b>		0,9	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,629		
<b>FGD</b>					0,160

- Área de fissura
- Área de mancha
- Área de Desc.
- Área de Ano. Pint

CENÁRIO 03					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	50	0,5	0,500	4	1
Área de mancha	15	0,15	0,037	1	0,24
Área de Desc.	10	0,1	0,086	3	0,86
Área de Ano. Pint	15	0,15	0,038	1	0,25
<b>FD Total</b>		0,9	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,661		
<b>FGD</b>					0,167

- Área de fissura
- Área de mancha
- Área de Desc.
- Área de Ano. Pint



CENÁRIO 04					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	40	0,4	0,400	3	1
Área de mancha	15	0,15	0,037	1	0,24
Área de Desc.	15	0,15	0,129	3	0,86
Área de Ano. Pint	10	0,1	0,025	1	0,25
<b>FD Total</b>		0,8	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,592		
<b>FGD</b>					0,118

CENÁRIO 05					
	Área	FD anomalia	FD equi anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	50	0,5	0,500	4	1
Área de mancha	15	0,15	0,037	1	0,24
Área de Desc.	15	0,15	0,129	3	0,86
Área de Ano. Pint	5	0,05	0,013	1	0,25
<b>FD Total</b>		0,85	-		
<b>FD equi Total</b>		-	0,679		
<b>FGD</b>					0,174

CENÁRIO 06					
	Área	FD anomalia	FD equi anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	35	0,35	0,35	3	1
Área de mancha	30	0,3	0,073	2	0,24
Área de Desc.	15	0,15	0,129	3	0,86
Área de Ano. Pint	5	0,05	0,012	1	0,25
<b>FD Total</b>		0,85	-		
<b>FD equi Total</b>		-	0,565		
<b>FGD</b>					0,114

CENÁRIO 07					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	30	0,3	0,300	3	1
Área de mancha	40	0,4	0,098	2	0,24
Área de Desc.	20	0,2	0,173	3	0,86
Área de Ano. Pint	10	0,1	0,025	1	0,25
<b>FD Total</b>		1	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,596		
<b>FGD</b>				0,117	

CENÁRIO 08					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	25	0,25	0,25	2	1
Área de mancha	40	0,4	0,097	2	0,24
Área de Desc.	20	0,2	0,172	3	0,86
Área de Ano. Pint	5	0,05	0,012	1	0,25
<b>FD Total</b>		0,9	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,533		
<b>FGD</b>				0,087	

CENÁRIO 09					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	10	0,1	0,1	2	1
Área de mancha	70	0,7	0,171	3	0,24
Área de Desc.	5	0,05	0,043	2	0,86
Área de Ano. Pint	10	0,1	0,025	1	0,25
<b>FD Total</b>		0,95	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,339		
<b>FGD</b>				0,058	

CENÁRIO 10					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	10	0,1	0,1	2	1
Área de mancha	55	0,55	0,134	3	0,24
Área de Desc.	5	0,05	0,043	2	0,86
Área de Ano. Pint	20	0,2	0,051	2	0,25
<b>FD Total</b>		0,9	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,328		
<b>FGD</b>				0,056	

CENÁRIO 11					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	5	0,05	0,05	1	1
Área de mancha	25	0,25	0,061	2	0,24
Área de Desc.	5	0,05	0,043	2	0,86
Área de Ano. Pint	30	0,3	0,076	2	0,25
<b>FD Total</b>		0,65	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,230		
<b>FGD</b>				0,029	

CENÁRIO 12					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	15	0,15	0,150	2	1
Área de mancha	25	0,25	0,061	2	0,24
Área de Desc.	5	0,05	0,043	2	0,86
Área de Ano. Pint	30	0,3	0,076	2	0,25
<b>FD Total</b>		0,75	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,331		
<b>FGD</b>				0,047	

**CENÁRIO 13**

	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	0	0	0,000	1	1
Área de mancha	50	0,5	0,122	3	0,24
Área de Desc.	0	0	0,000	2	0,86
Área de Ano. Pint	50	0,5	0,127	3	0,25
<b>FD Total</b>		1	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,250		
<b>FGD</b>				0,053	

■ Área de fissura    ■ Área de mancha

■ Área de Desc.    ■ Área de Ano. Pint

**CENÁRIO 14**

	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	0	0	0	1	1
Área de mancha	25	0,25	0,061	2	0,24
Área de Desc.	0	0	0	2	0,86
Área de Ano. Pint	25	0,25	0,064	2	0,25
<b>FD Total</b>		0,5	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,125		
<b>FGD</b>				0,018	

■ Área de fissura    ■ Área de mancha

■ Área de Desc.    ■ Área de Ano. Pint

**CENÁRIO 15**

	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	20	0,2	0,200	2	1
Área de mancha	20	0,2	0,049	2	0,24
Área de Desc.	0	0	0,000	2	0,86
Área de Ano. Pint	0	0	0,000	1	0,25
<b>FD Total</b>		0,4	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,249		
<b>FGD</b>				0,035	

■ Área de fissura    ■ Área de mancha

■ Área de Desc.    ■ Área de Ano. Pint

■ FD Total    ■ FDequi Total

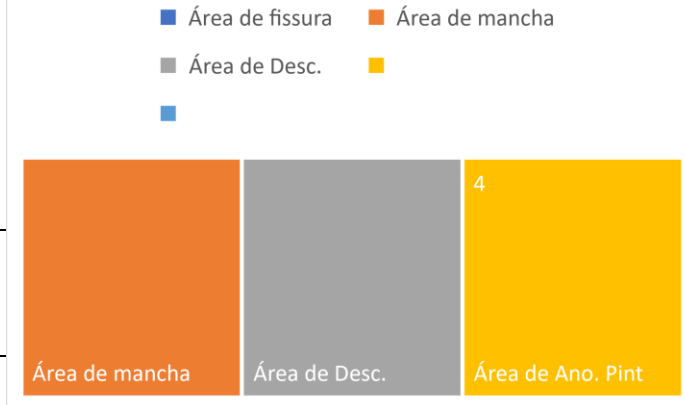
CENÁRIO 16					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	20	0,2	0,200	2	1
Área de mancha	20	0,2	0,049	2	0,24
Área de Desc.	20	0,2	0,173	3	0,86
Área de Ano. Pint	20	0,2	0,051	2	0,25
<b>FD Total</b>		0,8	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,472		
<b>FGD</b>					0,079

CENÁRIO 17					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	20	0,2	0,200	2	1
Área de mancha	20	0,2	0,049	2	0,24
Área de Desc.	0	0	0,000	2	0,86
Área de Ano. Pint	20	0,2	0,051	2	0,25
<b>FD Total</b>		0,6	-		
<b>FD equi Total</b>		-	0,300		
<b>FGD</b>					0,043

CENÁRIO 18					
	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	20	0,2	0,2	2	1
Área de mancha	0	0	0	1	0,24
Área de Desc.	20	0,2	0,172	3	0,86
Área de Ano. Pint	20	0,2	0,051	2	0,25
<b>FD Total</b>		0,6			
<b>FDequi Total</b>		-	0,423		
<b>FGD</b>					0,073

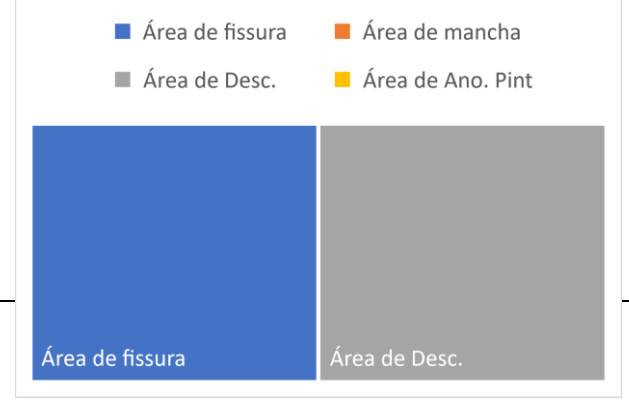
**CENÁRIO 19**

	Área	FD anomalia	FDequi Anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	0	0	0,000	1	1
Área de mancha	20	0,2	0,049	2	0,24
Área de Desc.	20	0,2	0,173	3	0,86
Área de Ano. Pint	20	0,2	0,051	2	0,25
<b>FD Total</b>		0,6	-		
<b>FDequi Total</b>		-	0,272		
<b>FGD</b>					0,051



**CENÁRIO 20**

	Área	FD anomalia	FD equi anomalia	FAIXA	Importância Relativa
Área de fissura	25	0,25	0,250	2	1
Área de mancha	0	0	0,000	1	0,24
Área de Desc.	25	0,25	0,216	3	0,86
Área de Ano. Pint	0	0	0,000	1	0,25
<b>FD Total</b>		0,5	-		
<b>FD equi Total</b>		-	0,466		
<b>FGD</b>					0,082



## ANEXO C – CÁLCULO DE $S_w$ NA SIMULAÇÃO

Cenários	Área de Mancha (m <sup>2</sup> )	Ka,n mancha	Kn Mancha	Área de fis. (m <sup>2</sup> )	Ka,n fis.	Kn Fis.	Área de Desc. (m <sup>2</sup> )	Ka,n desc.	Kn Desc.	Área de Ano. de Pin. (m <sup>2</sup> )	Ka,n Ano. Pint	Kn Ano. Pint	Sw
1	10	0,25	1	50	1	4	10	1,5	2	10	0,25	1	0,146875
2	30	0,25	2	50	1	4	5	1,5	1	5	0,25	1	0,1398438
3	15	0,25	1	50	1	4	10	1,5	2	15	0,25	1	0,1484375
4	15	0,25	1	40	1	4	15	1,5	3	10	0,25	1	0,1460938
5	15	0,25	1	50	1	4	15	1,5	3	5	0,25	1	0,1703125
6	35	0,25	2	30	1	3	15	1,5	3	5	0,25	1	0,1101563
7	40	0,25	3	30	1	3	20	1,5	3	10	0,25	1	0,1328125
8	40	0,25	3	25	1	3	20	1,5	3	5	0,25	1	0,1226563
9	70	0,25	4	10	1	1	5	1,5	1	10	0,25	1	0,05625
10	55	0,25	3	10	1	1	5	1,5	1	20	0,25	2	0,0429688
11	25	0,25	2	5	1	1	5	1,5	1	30	0,25	2	0,025
12	25	0,25	2	15	1	2	5	1,5	1	30	0,25	2	0,040625
13	50	0,25	3	0	1	1	0	1,5	1	50	0,25	1	0,03125
14	25	0,25	2	0	1	1	0	1,5	1	25	0,25	1	0,0117188
15	20	0,25	2	20	1	2	0	1,5	1	0	0,25	1	0,03125
16	20	0,25	2	20	1	2	20	1,5	3	20	0,25	2	0,09375
17	20	0,25	2	20	1	2	0	1,5	1	20	0,25	2	0,0375
18	0	0,25	1	20	1	2	20	1,5	3	20	0,25	2	0,0875
19	20	0,25	2	0	1	1	20	1,5	3	20	0,25	2	0,06875
20	0	0,25	1	25	1	3	0	1,5	1	25	0,25	2	0,0546875