



**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À DEGRADAÇÃO DAS ZONAS
DE FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO**

WILAMY VALADARES DE CASTRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

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

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À DEGRADAÇÃO DAS
ZONAS DE FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO**

WILAMY VALADARES DE CASTRO

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

BRASÍLIA/DF: AGOSTO/2023

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

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE À DEGRADAÇÃO DAS ZONAS DE
FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO**

WILAMY VALADARES DE CASTRO

DISSERTAÇÃO DE Mestrado submetida ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Estruturas e Construção Civil.

APROVADA POR:

Prof^a. Jéssica Siqueira de Souza, PhD. (ENC - Universidade de Brasília)
(Orientadora)

Prof^a. Ana Filipa Ferreira da Silva Cigarro Matos, PhD. (IST - Universidade de Lisboa)
(Co-Orientadora)

Prof. João Henrique da Silva Rêgo, PhD. (ENC - Universidade de Brasília)
(Examinador Interno)

Prof. Andrés Prieto Ibáñez, PhD. (ING – Pontificia Universidad Católica de Chile)
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 04 DE AGOSTO DE 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

CASTRO, WILAMY VALADARES DE
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS ZONAS DE FACHADAS COM
REVESTIMENTO CERÂMICO. [DISTRITO FEDERAL.
xiii, 75p. 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. DEGRADAÇÃO	2. FACHADAS
3. ANOMALIAS	4. REVESTIMENTO CERÂMICO
I. ENC/FT/UnB	II. Mestre

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CASTRO, W. V. (2023). Análise de sensibilidade à degradação das zonas de fachadas com revestimento cerâmico. Publicação E.DM – 24A/23, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 75 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Wilamy Valadares de Castro

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise de sensibilidade à degradação das zonas de fachadas com revestimento cerâmico

GRAU / ANO: Mestre em Estruturas e Construção Civil / 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. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Wilamy Valadares de Castro
Quadra 208, Lote 10 – Águas Claras, Distrito Federal, Brasil.
E-mail: wilamycastro1@gmail.com

“Portanto, dá-me sabedoria para que eu possa governar o teu povo com justiça e saber a diferença entre o bem e o mal. Se não for assim, como é que eu poderei governar este teu grande povo?”

(1 Reis 3:9)

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho a Deus em primeiro lugar. Toda honra e glória a Ele. Cumpriu sua promessa. “Deus não é homem para que minta, nem filho de homem para que se arrependa. Acaso ele fala e deixa de agir? Acaso promete e deixa de cumprir?” – (Números 23:19).

À minha amada esposa Larissa, por todo amor e compreensão, principalmente nos momentos de dúvida. Sua fé em mim sempre foi meu combustível para seguir minha jornada e meu propósito. Não poderei nunca expressar o suficiente em tamanho agradecimento e admiração pela minha companheira de vida.

Às professoras Jéssica Souza, Ana Silva e Pedro Gaspar que me guiaram e me fortaleceram como profissional e pessoa. O conhecimento adquirido e as oportunidades que me ofereceram foram únicas. Suas críticas e elogios foram de suma importância. Não poderia ter tido orientadores melhores. Foi um orgulho ter sido o primeiro aluno orientado pela professora Jéssica. Além disso tive o privilégio de ter acompanhado sua gestação e a vinda de Laura, sua filha. A professora Ana trouxe atenção e cuidado durante a trajetória. Minha sincera admiração e respeito por ti.

À minha família e amigos como fontes de inspiração. Em especial aos meus pais, Jeferson e Márcia; à minha sogra Cinália; ao meu irmão, Vítor e ao meu amigo Matheus Silva. Esses foram essenciais nessa jornada.

Aos professores examinadores. Agradeço ao professor João pelo conhecimento adquirido durante a ministração das disciplinas. Também agradeço ao professor Andrés Pietro pelo respeito e disponibilidade de avaliar o trabalho.

À Universidade de Brasília por ter me concedido a oportunidade de entrar no Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro durante a elaboração da dissertação de Mestrado. Ao *DMMProject*, por ceder a base de dados utilizada nesta dissertação.

À todas aquelas pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com a produção deste trabalho de dissertação de mestrado.

RESUMO

ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS ZONAS DE FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO

Autor: Wilamy Valadares de Castro

Orientadora: Jéssica Siqueira de Souza Co-Orientadora: Ana F. F. da Silva Cigarro Matos

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC)

Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 2023.

As fachadas com revestimentos cerâmicos são muito usadas devido a este tipo de revestimento proporcionar maior proteção à edificação quando comparada as demais opções de mercado. Entretanto placas cerâmicas em fachadas não são imunes às anomalias. Este estudo propõe esquemas gráficos que identificam a suscetibilidade às anomalias em cada zona da fachada para edifícios com revestimento cerâmico, analisando os níveis de degradação. A base de dados considera mais de 300 trechos de fachadas de edifícios residenciais em Brasília, Brasil. A área de estudo é aproximadamente 81.500 m², em que foi identificado as anomalias descolamento cerâmico, fissuras, falha de rejunte e eflorescência. O Método de Mensuração de Degradação (MMD) foi aplicado para o cálculo da probabilidade e sensibilidade de ocorrência das anomalias nas zonas de fachadas e posteriormente ponderou as anomalias entre si com o objetivo de hierarquizar por grau de importância das anomalias para as fachadas com revestimento cerâmico. Os resultados revelam que o descolamento é a anomalia mais frequente destacando maior gravidade. Os mapas de sensibilidade propostos permitem identificar um padrão na ocorrência de danos em revestimentos cerâmicos, revelando que as zonas de paredes contínuas, transição entre pavimentos e topo do edifício são áreas vulneráveis a anomalias. Em contra partida, as sacadas têm menor sensibilidade à presença de anomalias. Os mapas trazem informações que podem ser utilizadas para melhores decisões de concepção e construção no início do ciclo de vida dos edifícios, ajudando a prevenir e mitigar a ocorrência de danos, como também auxilia na detecção e elaboração do diagnóstico da condição de degradação atual da fachada.

Palavras-chave: Degradação; Fachadas; Anomalia; Revestimento Cerâmico.

ABSTRACT

SENSITIVITY ANALYSIS OF FACADE ZONES WITH CERAMIC CLADDING

Author: Wilamy Valadares de Castro

Supervisor: Jéssica Siqueira de Souza Supervisor: Ana F. F. da Silva Cigarro Matos

Postgraduate Program in Structures and Civil Construction

University of Brasília, Brasília, Brazil. 2023.

Facades with ceramic cladding are widely used because this type of coating provides greater protection to the building when compared to other market options. However, ceramic tiles on facades are not immune to anomalies. This study proposes graphic schemes that identify the susceptibility to anomalies in each zone of the facade for buildings with ceramic coating, analyzing the levels of degradation. The database considers more than 300 sections of facades of residential buildings in Brasília, Brazil. The study area is approximately 81,500 m², in which the anomalies of ceramic detachment, cracks, grout failure and efflorescence were identified. The Degradation Measurement Method (MMD) was applied to calculate the probability and sensitivity of the occurrence of anomalies in the façade zones and subsequently weighted the anomalies against each other in order to rank the anomalies by degree of importance for the façades with ceramic coating. The results reveal that detachment is the most frequent anomaly, highlighting greater severity. The proposed sensitivity maps make it possible to identify a pattern in the occurrence of damage to ceramic tiles, revealing that the areas of Continuous Walls, Transition between Floors and Top of the building are areas vulnerable to anomalies. On the other hand, balconies are less sensitive to the presence of anomalies. The maps bring information that can be used for better design and construction decisions at the beginning of the life cycle of buildings, helping to prevent and mitigate the occurrence of damage, as well as assisting in the detection and elaboration of the diagnosis of the current degradation condition of the façade.

Key-words: Degradation; Facades; Anomalies; Ceramic cladding.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	1
1.2. CONTEXTO DA PESQUISA.....	4
1.3. OBJETIVO	5
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	6
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. BIBLIOMETRIA	7
2.2. DURABILIDADE DOS EDIFÍCIOS.....	8
2.3. FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO.....	9
2.4. ANOMALIAS COMUNS EM REVESTIMENTO CERÂMICO	10
2.4.1. Descolamento cerâmico	11
2.4.2. Fissuras.....	12
2.4.3. Falha de rejunte	12
2.4.4. Eflorescência	13
2.5. PONDERAÇÃO ENTRE AS ANOMALIAS	14
2.6. ZONAS DA FACHADA.....	16
2.7. DEGRADAÇÃO: MENSURAÇÃO E MODELAÇÃO	18
2.8. INDICADOR DE DEGRADAÇÃO	22
2.9. CARTOGRAFIA.....	23
2.10. GESTÃO DA MANUTENÇÃO.....	25
3. METODOLOGIA	27
3.1. MODELO DE FACHADA PADRÃO	27
3.2. PROBABILIDADE E SENSIBILIDADE.....	28
3.3. CONFECÇÃO DOS MAPAS PADRÃO DE DEGRADAÇÃO	30
4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	33
4.1. MODELO DE FACHADA FICTÍCIA PADRÃO	33
4.2. NÍVEIS DE CONDIÇÃO DE DEGRADAÇÃO	33
4.3. MAPA PADRÃO DE DEGRADAÇÃO.....	37

4.3.1. Descolamento cerâmico	38
4.3.2. Fissura	43
4.3.3. Falha de rejunte	48
4.3.4. Eflorescência	54
4.3.5. Síntese dos resultados.....	59
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desempenho das edificações ao longo do tempo.....	2
Figura 2 – Número de documentos por nação.....	8
Figura 3 – Esquema ilustrativo do sistema de revestimento cerâmico	10
Figura 4 – Descolamento cerâmico em fachadas.	11
Figura 5 – Fissuras em sistema de revestimento cerâmico.....	12
Figura 6 – Fissuras em sistema de revestimento cerâmico.....	13
Figura 7 – Eflorescência em fachada com revestimento cerâmico.	14
Figura 8 – Delimitação das zonas da fachada.....	16
Figura 9 – Ensaio de percussão na inspeção.....	19
Figura 10 – Ensaio realizado com câmera termográfica.	20
Figura 11 – Método de teste <i>pull-out</i>	20
Figura 12 – Exemplo de orientação a ser considerada, em função do azimute.	21
Figura 13 – Subdivisão das amostras da fachada.	21
Figura 14 – Processo de inspeção, mapeamento e sobreposição de malha.	22
Figura 15 – Conceitos de cartografia e seus produtos.	23
Figura 16 – Mapa de danos.	25
Figura 17 – Fluxograma metodológico.	27
Figura 18 – Fachada exemplo similar à base de dados.....	28
Figura 19 – Exemplos de representação de terreno.	30
Figura 20 – Fachada fictícia padrão para estudo das zonas.....	33
Figura 21 – Frequência dos níveis de degradação para cada zona.	34
Figura 22 – Frequência dos níveis de degradação para cada anomalia.	36
Figura 23 – Níveis de degradação geral das amostras.....	37
Figura 24 – Mapas de degradação para descolamento cerâmico.....	39
Figura 25 – Mapas de degradação para descolamento nas áreas de base e topo.....	40
Figura 26 – Mapas de degradação para descolamento na orientação Norte.....	40
Figura 27 – Mapas de degradação para descolamento na orientação Sul.	41
Figura 28 – Mapas de degradação para descolamento na orientação Leste.	41
Figura 29 – Mapas de degradação para descolamento na orientação Oeste.....	42
Figura 30 – Mapas de degradação para fissura.	44
Figura 31 – Mapas de degradação para fissura nas áreas de base e topo.	45
Figura 32 – Mapas de degradação para fissura na orientação Norte.	45

Figura 33 – Mapas de degradação para fissura na orientação Sul.....	46
Figura 34 – Mapas de degradação para fissura na orientação Leste.	46
Figura 35 – Mapas de degradação para fissura na orientação Oeste.	47
Figura 36 – Mapas de degradação para falha de rejunte.	49
Figura 37 – Mapas de degradação para falha de rejunte nas áreas de base e topo.....	50
Figura 38 – Mapas de degradação para falha de rejunte na orientação Norte.....	50
Figura 39 – Mapas de degradação para falha de rejunte na orientação Sul.....	51
Figura 40 – Mapas de degradação para falha de rejunte na orientação Leste.	51
Figura 41 – Mapas de degradação para falha de rejunte na orientação Oeste.....	52
Figura 42 – Mapas de degradação para eflorescência.	54
Figura 43 – Mapas de degradação para eflorescência nas áreas de base e topo.....	55
Figura 44 – Mapas de degradação para eflorescência na orientação Norte.....	56
Figura 45 – Mapas de degradação para eflorescência na orientação Sul.	56
Figura 46 – Mapas de degradação para eflorescência na orientação Leste.	57
Figura 47 – Mapas de degradação para eflorescência na orientação Oeste.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de periódicos nas bases de dados <i>Scopus</i> e <i>Web of Science</i>	7
Tabela 2 – Matriz de correlação entre as anomalias e as possíveis causas.	15
Tabela 3 – Matriz de correlação entre anomalias e requisitos dos usuários.....	15
Tabela 4 – Coeficientes referentes ao nível de condições das anomalias.	29
Tabela 5 – Coeficiente referente peso relativo entre anomalias para o <i>RwA</i>	30
Tabela 6 – Probabilidade de ocorrência das anomalias para cada zona.	38
Tabela 7 – Resumo das zonas para os mapas de probabilidade.	59
Tabela 8 – Resumo das zonas para os mapas de sensibilidade.	60

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação de mestrado aborda sobre processo de degradação para fachadas com revestimento cerâmico em Brasília, Brasil. O mapeamento de ocorrência de anomalias em revestimentos cerâmicos aderentes é analisado e identifica as zonas críticas da fachada. Para criação de ferramentas econômicas e expeditas com o intuito de auxiliar projetistas e construtores dentro do setor de arquitetura e construção civil, este estudo associa os comportamentos das anomalias típicas ao sistema de revestimento de fachada estabelecendo uma análise causa-efeito entre as anomalias e a probabilidade de ocorrência nas zonas da fachada. Para isto, este estudo é composto por métodos básicos estatísticos aliados aos Desenhos Assistidos por Computador (CAD).

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

As fachadas são elementos de suma importância para a composição de envoltória dos edifícios. Esses elementos não se limitam ao espaço que ocupam no sistema estrutural da construção, pois afetam tanto o espaço interno quanto externo ao edifício. A fachada é um elemento chave, quando observa a influência dos fatores externos aos ambientes internos. Vista, iluminação, ventilação, conforto ao usuário, suporte de cargas, vedação e entre outros são algumas funções que a fachada precisa exercer. A fachada é parte integrante de todo o edifício, diretamente ligada à concepção, projeto, uso, estrutura e serviços do edifício. Sendo assim, esta tem uma influência decisiva em todo o processo de concepção e construção (Knaack *et al.*, 2014). Ainda segundo Knaack *et al.* (2014), a concepção de fachadas é um processo de comunicação e de tomada de decisões centrado na formulação do edifício e na sua definição. Especificamente, esta pode incluir as fases de concepção inicial, definição de funcionalidade, projeto, implementação e montagem. As fases incluem certos processos, tais como o *feedback* sobre o projeto geral, definição da funcionalidade e a importância dos elementos na estrutura global do edifício. Contudo, não há consentimento na tecnologia de fachada e não há uma resposta definitiva certa ou errada. As fachadas representam resultado de conceitos criativos individuais desenvolvidos para um local, situação ou conceito arquitetônico específico.

Aliado ao tema de fachadas, devido à sensibilização para a necessidade de proteção ambiental e desenvolvimento sustentável, uma das principais questões na construção de edifícios é a durabilidade. O envoltório do edifício, em particular a fachada, contribui significativamente para o desempenho e durabilidade. A principal função da fachada é proteger o edifício de influências externas e garantir a segurança e conforto dos ocupantes. Dentre os

fatores de degradação que podem atuar na fachada, é importante citar o clima, fatores biológicos, tensões mecânicas, incompatibilidades na utilização e até manutenção inadequada (Souza, 2019).

Cada edifício é um protótipo único com condições irrepetíveis. Assim sendo, existem vários fatores que atuam simultaneamente que tornam difícil modelar um único comportamento ou desempenho da fachada ao longo de um período de tempo longo (Flores-colen *et al.*, 2020). A norma de desempenho ABNT NBR 15575-1 (2021) contém requisitos e critérios de desempenho que permite contabilizar a vida útil. Estes são apresentados como limites para auxiliar na avaliação da deterioração dos edifícios existentes e na determinação do comportamento de novos edifícios. Geralmente os níveis de deterioração das fachadas são superiores ao permitido, principalmente devido a alterações na utilização e necessidades dos ocupantes. Outro ponto em destaque é o aumento da poluição nas áreas urbanas que perturba o ambiente e aumenta o nível de degradação. Por conseguinte, fachadas instaladas em condições desfavoráveis podem ser comprometidas em termos de qualidade e durabilidade (Souza *et al.*, 2020). A qualidade e durabilidade da construção pode ser melhorada através de um controle rigoroso dos projetos e execução, bem como através da manutenção regular dos sistemas (Figura 1).

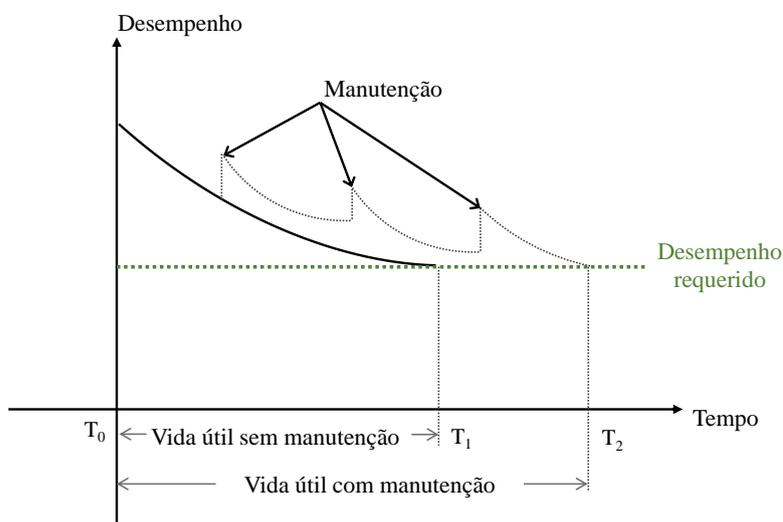


Figura 1 – Desempenho das edificações ao longo do tempo (ABNT NBR 15575-1, 2021)

A manutenção de edifícios é uma ação complexa realizada ao longo de toda a vida útil para manter ou restaurar as funções do edifício e dos seus sistemas ao desempenho para o qual foram concebidos. Os edifícios devem se submeter constantemente a um processo de manutenção preventiva para garantir um desempenho adequado e prolongar a vida útil. A

utilização e manutenção corretas garantem o bem-estar dos utilizadores e a valorização do bem (Azevedo, 2022).

A degradação dos edifícios é um processo complexo que envolve vários fatores e relações. Ao contrário da patologia, que se centra no processo de diagnóstico e reabilitação dos mecanismos pelos quais ocorrem falhas e anomalias, a degradação trata do comportamento de desempenho dos elementos devido à utilização. A diminuição do desempenho comum dos edifícios e seus componentes, devido à exposição a agentes de degradação, está em estudo constante. As ações de tais edifícios são estudadas em termos da definição da vida útil e dos aspectos da tomada de decisões para execução da manutenção. Nesta perspectiva, os agentes deteriorantes são resultados de progressão da degradação, de tal forma que a ação dos materiais e elementos transcorrem e o edifício degrada-se gradualmente ao longo do tempo (Gaspar e Brito, 2008; Pereira *et al.*, 2020; Bauer e Souza, 2022).

Como alternativa de revestimentos, os cerâmicos são relevantes como acabamento pela facilidade de higienização, pelo valor estético, durabilidade, qualidade, isolamentos térmico e acústico, segurança ao fogo e estanqueidade aos gases e à água. Todavia, quando o sistema de revestimento é especificado ou executado de forma imprecisa pode se tornar um prejuízo ao desempenho de vedação, traduzindo-se em danos ao sistema (Shohet *et al.*, 2004).

Os danos são resultados das anomalias que, por sua vez, são características de desigualdade ou falta de regularidade do revestimento cerâmico que apresentam condições anômalas ou fora do comum. Dessa forma, cada anomalia apresenta condições únicas de estudo devido a fatores geométricos, geográficos, climáticos e executivos relacionados ao revestimento cerâmico em questão. Segundo Bauer *et al.* (2015) as fachadas de edifícios em Brasília apresentam descolamento da placa cerâmica, falhas de trincas, falhas de rejunte, eflorescências e falhas de vedação como principais anomalias, sendo a primeira com maior destaque.

Apesar das ferramentas dispostas aos projetistas e a qualidade dos materiais para execução dos revestimentos cerâmicos, o fator das intempéries e a execução inadequada dos revestimentos podem ser variáveis inconstantes, dificultando o plano de manutenção das fachadas. Com isso, pesquisas em fachadas cerâmicas para o mapeamento e quantificação das áreas de degradação estão sendo realizadas para detecção e intitulação de causas e consequências das anomalias comuns a essa tipologia de material (Silvestre e De Brito, 2011; Ferreira *et al.*, 2020).

A análise estatística dos dados pode ser realizada para identificar padrões de localização na fachada, destacando o tipo de anomalia provável, a gravidade e a evolução da degradação ao longo do tempo em relação à área em que ocorreu. Estes padrões podem ser traduzidos em esquemas gráficos que identificam a suscetibilidade às anomalias de cada parte da fachada e que podem ser usados como uma ferramenta para ajudar projetistas e usuários a desenvolver estratégias de projeto e manutenção para melhorar a durabilidade do sistema (Gaspar e Brito, 2005). Portanto, a presente dissertação acrescenta ao tema uma discussão sobre o comportamento de degradação de fachadas com revestimento cerâmico, bem como destaca as principais anomalias presentes ao sistema. Além disso, elucida os padrões de degradação para cada região da fachada através de análises estatísticas e ferramenta para melhorar as ações preventivas do processo de gestão de manutenção de fachadas.

1.2. CONTEXTO DA PESQUISA

Esta dissertação está inserida na conjuntura nacional quanto internacional dentro do contexto de durabilidade em sistemas de vedações verticais e mensuração da degradação em fachadas de edifícios. É importante ressaltar que o tema de durabilidade no estudo tem a perspectiva na estatística utilizada por índices de degradação, para o auxílio no estudo da tendência do processo de degradação, como também a identificação das anomalias pertinentes ao sistema.

O ineditismo do estudo fundamenta-se na proposição de modelos gráficos que ilustram os níveis de degradação para fachadas de edifícios situados em Brasília, Brasil. Apesar dos modelos criados serem específicos para revestimentos cerâmicos, a base estatística permite transacionar para outras tipologias como argamassas, revestimentos pétreos e pinturas, como também permite modificar o modelo de fachada padrão consoante com a localidade do estudo. Destacando a esfera da linha de investigação sobre Desempenho, Vida Útil, Degradação e Patologia no Ambiente Construído do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC), com ênfase na Construção Civil da Universidade de Brasília, as pesquisas desenvolvidas são:

- Antunes, G. R. (2010) Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília - Sistematização da incidência de casos;
- Silva, M. N. B. (2014) Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – Aplicação ao caso de Brasília/DF;

- Costa, M. S. (2014) Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica;
- Zanoni, V. A. G. (2015) Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília;
- Souza, J. S. (2016) Evolução da degradação de fachadas - Efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes;
- Nascimento, M. L. M. (2016) Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios;
- Pinheiro, P. I. S. (2016) Aplicação do método de mensuração da degradação (MMD) ao estudo das fachadas de edifícios de Brasília;
- Henrique, E. S. (2017) Sensibilidade à degradação das fachadas – Estudo dos aspectos construtivos;
- Santos, D. G. (2018) Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios;
- Santos, M. J. B. O. (2017). Catalogação de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília;
- Piazzarollo, C. B. (2019) Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada;
- Souza, J. S. (2019) Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios;
- Mota, L. M. G. (2021) Estudo da iniciação e da propagação da degradação de fachadas com revestimento em argamassa.
- Andrade, D. T. (2022) Modelação da degradação de fachadas a partir de parâmetros obtidos da simulação higrotérmica para os edifícios de Brasília.

1.3. OBJETIVO

O objetivo geral consiste em analisar o padrão de degradação para fachadas com revestimento cerâmico, destacando as anomalias inerentes a tipologia do material. Ao alcançar o objetivo geral conquistam-se os objetivos específicos em simultâneo, que são:

- Analisar os níveis de degradação para cada zona de fachada do grupo amostral;
- Justificar as causas prováveis das anomalias registradas;
- Propor esquemas gráficos ou mapas que identificam a suscetibilidade às anomalias em cada zona da fachada para edifícios com revestimento cerâmico;

- Desenvolver um mapa de sensibilidade para cada anomalia estudada;
- Dispor mapas padrões que possam ser utilizados como ferramenta para aumentar a durabilidade de fachadas com revestimento cerâmico.

1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O primeiro capítulo é uma contextualização do tema enfatizando a importância do estudo da durabilidade das edificações em fachadas com revestimento cerâmico. Este capítulo ainda apresenta os objetivos propostos e a estruturação do trabalho.

O segundo capítulo faz um referendo inicial aos temas de durabilidade, fachadas com revestimento cerâmico e as principais anomalias, bem como a explanação das zonas e a metodologia de mensuração de anomalias em fachadas. Em composição ao tema, explica-se os conceitos de mapas revelando as principais características e associando a funcionalidade ao tema da dissertação. Por fim, é trazido o tema de gestão da manutenção para promover importância da pesquisa em detrimento do ciclo de vida da edificação.

O terceiro capítulo fomenta a metodologia adotada com o fito de atender ao objetivo proposto. O procedimento tem o início mediante a exposição dos coeficientes do indicador de degradação denominado Fator Geral de Degradação, assim calculando a susceptibilidade das fachadas às anomalias, denominado Probabilidade e Sensibilidade. Por derradeiro, é confeccionado um modelo de fachada fictícia padrão para a produção dos mapas de probabilidade e sensibilidade.

O quarto capítulo expõe uma discussão dos resultados obtidos. Inicialmente demonstra os níveis de degradação dos trechos das fachadas estudadas, tanto por zona quanto por anomalia. Posteriormente é disposto mapas de probabilidade seguido dos mapas de sensibilidade. Os mapas foram organizados por anomalia para facilitar a compreensão dos resultados.

No quinto capítulo são expostas as principais conclusões da pesquisa e as considerações sobre os objetivos alcançados, como também é apontado as principais contribuições e sugestões para estudos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são discutidos temas que fundamentam os principais conteúdos abordados nessa dissertação. Os temas vinculados a durabilidade e degradação dos edifícios têm sido amplamente discutidos nas últimas décadas. Originalmente, a pesquisa refere ao tema de degradação em fachadas com revestimento cerâmico, com abordagem as anomalias provenientes desse tipo de sistema, bem como as metodologias utilizadas para mensuração do estado de degradação. Em seguida aborda-se o estudo de mapas visando auxílio ao processo de gestão da manutenção.

2.1. BIBLIOMETRIA

A partir da revisão da literatura realizada na base de dados da *Scopus* e da *Web of Science*, foi feita uma análise de relevância das publicações com o tema de mapas de degradação de fachadas com revestimento cerâmico (Tabela 1). Como esperado, na medida que faz a inserção de novas palavras, a quantidade de periódicos decresce. Portanto, a quantidade avaliada para ambas bases de dados refletem em um valor médio de 17 pesquisas vinculados ao tema específico descrito inicialmente. Vale ressaltar que considerou todos os tipos tais como artigos, revistas, capítulos de livros e jornais.

Tabela 1 – Número de periódicos nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*.

Palavras-Chave	<i>Scopus</i>	<i>Web of Science</i>
Fachadas e Degradação	509	385
+ Revestimento Cerâmico	34	24
+ Mapas	20	14

Com o auxílio do *software VOSviewer*, países com número de pesquisas correlacionados ao tema foram registrados. Para fins numéricos, é apresentado o quantitativo de publicações por nação, em que Portugal é destacado com 99 produções (Figura 2).

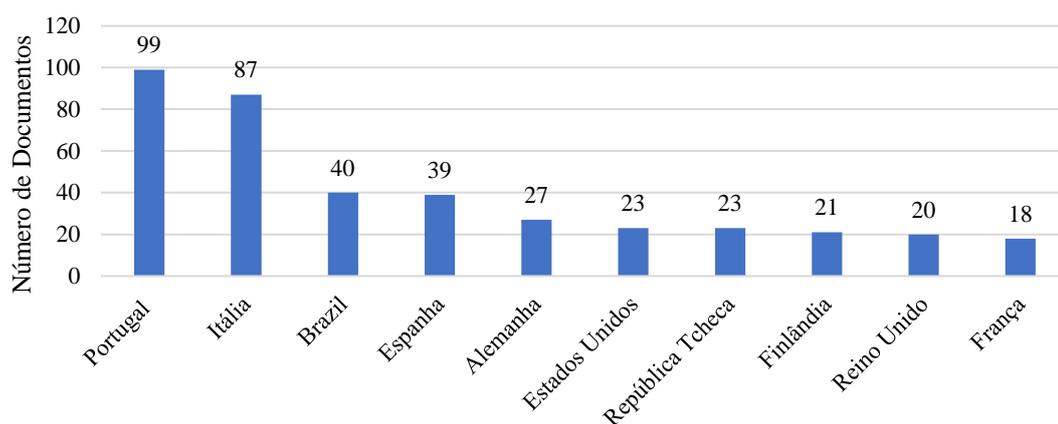


Figura 2 – Número de documentos por nação.

2.2. DURABILIDADE DOS EDIFÍCIOS

A preocupação com a durabilidade dos edifícios tem aumentado consideravelmente nos dias de hoje. Esta consciencialização está a tornar-se generalizada nos países desenvolvidos onde os edifícios estão deteriorando-se e o custo de reparação e manutenção é elevado. A importância de incorporar planos de manutenção e durabilidade na fase de concepção é evidente, pois atua como uma forma de prever e prevenir a redução do desempenho dos edifícios a longo prazo. Após a publicação do método fatorial (*factor method*), método de previsão da vida útil inicialmente proposto pelo Instituto de Arquitetura do Japão, aumentou o interesse e a investigação sobre a durabilidade dos edifícios. Embora o método tenha sido criticado, recebeu um apoio considerável na comunidade científica devido à clareza e facilidade de aplicação, mesmo quando faltam alguns dados básicos (Bordalo, 2008). Desta forma, este método é atualmente aceito como uma metodologia geral de previsão da vida útil, estando prescrito na norma internacional para a durabilidade das construções (ISO 15686-7, 2011).

Segundo ABNT NBR 15575-1 (2021), a durabilidade é definida como a capacidade de um edifício ou dos seus sistemas componentes de desempenhar as suas funções ao longo tempo sob certas condições de utilização e manutenção. A importância da durabilidade é dada pela influência em aspectos de materiais de construção, componentes, edifícios e estruturas como a sustentabilidade, vida útil, custo de reparo, reforma e impacto ambiental (Jernberg *et al.*, 2004). Para além do conforto e estética de um edifício, a durabilidade é um requisito moderno importante para projetos de construção e, geralmente, é utilizada como um indicador de qualidade do estado de um edifício ou dos sistemas que mantém o desempenho exigido ao longo da vida útil (ABNT NBR 15575-1, 2021). Ao conceber o revestimento da fachada, as medidas

de durabilidade são cada vez mais necessárias e, por isso, evidenciam-se os aspectos relacionados à vida útil do edifício e do revestimento, aos fenômenos de mudança estrutural e de componentes (químicos, físicos e mecânicos), às propriedades dos materiais aplicados na fachada e às condições de execução, aos efeitos das condições de exposição ambiental e de utilização do edifício e à garantia da compatibilidade entre o sistema de revestimento e a estrutura. Na prática, o conceito de vida útil é muitas vezes confundido com o conceito de durabilidade. Em contraste com o conceito de vida útil, a durabilidade refere-se não a um período de tempo, mas à capacidade de um edifício e dos seus componentes de funcionar de forma satisfatória durante o ciclo de vida (ISO 15686-1, 2011; ABNT NBR 15575-1, 2021). As fachadas têm uma forte influência sobre a durabilidade de um edifício, pois quando a fachada não cumpri os critérios básicos exigidos, tais como integridade estrutural, segurança, sustentabilidade e durabilidade, a longevidade do edifício é comprometida (Mota, 2021).

2.3. FACHADAS COM REVESTIMENTO CERÂMICO

Os revestimentos de fachadas contribuem para a durabilidade da estrutura, pois protegem de fatores ambientais. Os revestimentos representam a pele do edifício, de forma cumprir também com função estética. Para além dos critérios de qualidade e custo, a seleção do tipo de revestimento deve ter em conta as condições a que será exposto durante a vida útil. Os revestimentos de fachadas localizados nas camadas exteriores do edifício estão sujeitos a anomalias, ou seja, são mais vulneráveis e, por isso, apresentam maior incidência de danos (Ho *et al.*, 2004; Silva, 2015).

Na Figura 3 é apresentado um esquema ilustrativo de um sistema de revestimento, isto é, um conjunto monolítico de camadas rígidas aderentes à base da fachada, cuja camada final representa o revestimento cerâmico com rejunte. A base representa o sistema construtivo utilizado. A camada externa é composta pelo revestimento, este podendo variar o modelo de placas cerâmicas, como a geometria, marca e condições de fabricação. Esse sistema pode apresentar um comportamento mecânico não linear frágil, pois se identifica baixa resistência à tração e irregularidade da aderência entre os materiais compostos do sistema (Sousa *et al.*, 2016).

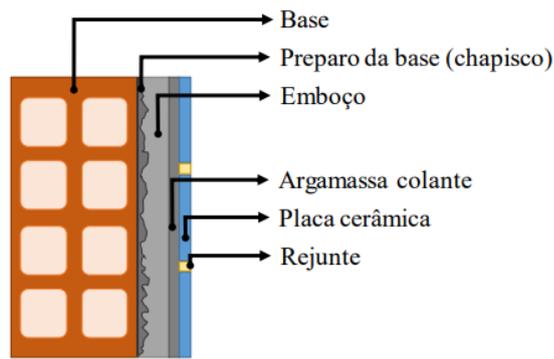


Figura 3 – Esquema ilustrativo do sistema de revestimento cerâmico (Souza, 2019).

Os sistemas de revestimento cerâmico são elementos verticais que compõem, cobrem e protegem as fachadas de edifícios e estruturas, logo estes estão altamente expostos aos efeitos combinados da chuva, vento, radiação solar, agentes biológicos e poluentes atmosféricos (Flores-Colen, 2009). Este nível de exposição resulta em vários tipos de mecanismos e processos de degradação que levam a perda de qualidade e desempenho mais pronunciada do que outros elementos do edifício, significando custos de manutenção mais elevados, evoluindo da deterioração visual para problemas físicos da fachada e perda de durabilidade (Gaspar e Brito, 2008).

Para tentar amenizar o comportamento frágil do sistema, as técnicas de reforço são usadas para aumentar a capacidade de deformação e resistência. Cita-se, por exemplo, as vergas e contra vergas, telas metálicas ou telas de poliéster. Todas as técnicas pretendem dissipar ou distribuir as forças que se acumulam em regiões de aberturas para as esquadrias ou arestas das fachadas. Dessa forma, os efeitos negativos são minimizados a longo prazo (Ferreira, 2016).

2.4. ANOMALIAS COMUNS EM REVESTIMENTO CERÂMICO

Existem várias terminologias utilizadas para as falhas em edifícios tais como patologia, defeito, dano, manifestação patológica, avaria e entre outros (Bauer *et al.*, 2021). Na presente dissertação é utilizado o termo anomalia como termo de caracterização às falhas e defeitos, pois o conceito da palavra é o que mais se aproxima ao identificado pelas pesquisas e estudos, ocasionando um dano anômalo ao desempenho e por consequência diminuição da vida útil do componente. As principais anomalias em fachadas de edifícios em Brasília são descolamento da placa cerâmica, falhas de trincas, falhas de rejunte, eflorescências e falhas de vedação (Bauer *et al.*, 2015)

2.4.1. Descolamento cerâmico

Como apresentado no estudo de Bauer e Souza (2022), o descolamento cerâmico costuma ser a anomalia de maior frequência ou incidência nas fachadas. Pressupõe-se que grande parte desse problema está associado a falhas de execução e falha de materiais. Enfatiza-se que normalmente na etapa de inspeção há uma significativa parcela de cerâmicas com falhas de ligação, possivelmente devido ao não esmagamento eficiente dos cordões de argamassa colante para o assentamento das placas cerâmicas. O processo de descolamento cerâmico é evolutivo, desenvolve gradualmente sob a influência de agentes degradantes, tal como a radiação e a chuva dirigida, e está diretamente relacionado com mecanismos de degradação mais específicos, tais como tensões termomecânicas, fadiga e alterações nas dimensões das fachadas (Souza *et al.*, 2020).

O descolamento cerâmico (Figura 4) ocorre quando há o desprendimento parcial ou total da peça cerâmica com a argamassa devido à descontinuidade do contato de ambos os materiais ou falta de aderência da cerâmica em relação ao substrato (Bauer *et al.*, 2015). Essa anomalia pode ocorrer em função do tempo e não está associada à queda imediata da placa. Entretanto, a identificação é dada por golpes percutidos nas cerâmicas que expõem um som oco, comprovando a falha na ligação com argamassa (Antunes, 2010). Para a propagação da degradação por descolamento, a deformação do substrato, a ocorrência de ciclos de secagem e umidificação e alta temperatura aumentam o alcance e a gravidade da anomalia (Bauer *et al.*, 2021).



Figura 4 – Descolamento cerâmico em fachadas.

A perda de adesão pode ser entendida como o processo de falha na interface da peça cerâmica e a camada de ancoragem ou a interface da camada de ancoragem e o substrato, devido à tensão gerada que excede a capacidade de adesão das ligações. Essa anomalia tende a ocorrer com maior intensidade nos primeiros e últimos pavimentos, nas regiões em balanço pela

existência de deslocamentos estruturais maiores e nas fachadas mais expostas à incidência solar (Barros e Sabatini, 2001).

2.4.2. Fissuras

Todos os edifícios sofrem com movimentos ao longo do ciclo de vida. Segundo a ABNT NBR 15575-2 (2013), uma fissura é definida como uma área da superfície de um componente ou uma área inteira que está sujeita à ação capilar e que produz tensões normais ou tangenciais. Ou seja, se estas oscilações criarem tensões que excedam as tensões admissíveis para os elementos que compõem o sistema, este é propenso a falhas. As quebras e fraturas resultantes de tais vibrações são chamadas de fissuras (Santos, 2017).

A maioria desses movimentos são causados por fenômenos físicos e químicos, tais como alterações de temperatura e umidade, corrosão, carbonização e oxidação. Cita-se também causas macroestruturais, tais como deformação das fundações, fluência dos elementos de suporte de carga, carga e sobrecarga durante o funcionamento. Além disso, causas de concepção e construção, por exemplo ausência de verga e contra-verga ou subdimensionadas, tempos de espera inadequados para o sistema de revestimento, dosagem ou preparação incorreta da argamassa e má aderência do substrato (Gaspar *et al.*, 2006; Santos, 2017).

A principal característica de fissura (Figura 5) é o aparecimento de ruptura na superfície ou corpo da placa cerâmica, causando a perda da integridade da fachada e podendo revelar algum componente. Quando a fissura acontece pode acarretar em um desprendimento da placa de substrato (Luz, 2004).



Figura 5 – Fissuras em sistema de revestimento cerâmico.

2.4.3. Falha de rejunte

A ABNT NBR 13755 (2017) conceitua juntas como um espaço regular pré-concebido entre duas peças similares ou distintas, ao qual quando considera o aspecto funcional se torna

um elemento construtivo capaz de unir elementos adjacentes. Dessa forma, dependendo de qual a finalidade da junta, é possível classificar quanto à função, quanto ao tratamento e quanto ao acabamento. Silvestre e Brito (2007) afirmam que os materiais de junta de revestimentos cerâmicos têm elevada incidência de anomalias, uma vez que são elementos mais susceptíveis a agentes agressivos, como demonstrado na Figura 6.

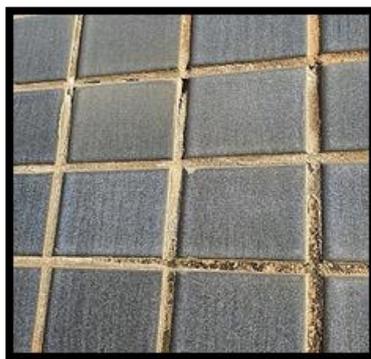


Figura 6 – Fissuras em sistema de revestimento cerâmico.

As pesquisas de Sabbatini *et al.* (1990), Goldberg (1998) e BS 5385-2 (2020) permitiram sintetizar as principais funções dos rejuntas em revestimentos de fachadas. A primeira função é dissipar as tensões geradas pelas deformações intrínsecas aos revestimentos resultantes da ação do ambiente (variação de temperatura e umidade) e dissipar as tensões oriundas das movimentações da base suporte dos revestimentos. Outra função é separar os revestimentos e componentes arquitetônicos com diferentes características térmicas ou higroscópicas e subdividir grandes áreas de revestimentos em pequenas áreas, além de permitir mudanças de planos de orientação dos revestimentos.

2.4.4. Eflorescência

As eflorescências são manchas brancas formadas pela deposição de sais oriundos da alvenaria ou do próprio revestimento (Figura 7). A formação de depósitos de sais ocorre pela cristalização destes em soluções aquosas, ao qual a saturação é atingida em consequência da evaporação do solvente. A solução aquosa é formada na microestrutura da peça cerâmica ou alvenaria pelo contato da água com os sais solúveis presentes nos insumos dos materiais ou adicionada por fontes externas e movimenta-se pela rede capilar estrutural do material (Menezes *et al.*, 2006). Para o surgimento dessa anomalia há três condições mútuas, são elas a existência de umidade, a presença de sais solúveis e a possibilidade de fluxo de água representada pela conectividade de poros (Flores-Colen *et al.*, 2004; Joffily e Oliveira, 2013). Se uma destas três condições deixar de se verificar, não é possível a formação de depósitos de

sais. Vale destacar que a presença de sais na composição de produtos cerâmicos não pode ser evitada.



Figura 7 – Eflorescência em fachada com revestimento cerâmico.

As soluções aquosas de sal evaporam na superfície ou em áreas próximas somente se houver um gradiente de umidade entre a atmosfera ambiente e o material que favoreça esse fenômeno. No entanto, em ambientes de alta umidade ou na presença de sais deliquescentes, que são difíceis de secar, os sais não cristalizam e se depositam como um gel cuja viscosidade depende da composição e concentração da solução (Menezes *et al.* 2006).

A eflorescência pode ser solúvel e removível pela simples ação da água, resultado da composição. Entretanto, existem casos em que a eflorescência é insolúvel, assim depositando sobre o revestimento camadas brancas. Com isso, os métodos de limpeza tradicionais como escovas, detergentes e água sanitária se tornam ineficazes (Junginger e Medeiros, 2002). Segundo Ferreira e Bergmann (2011), é necessário a existência de um método que diminua a subjetividade da quantificação da eflorescência em uma análise visual.

2.5. PONDEREÇÃO ENTRE AS ANOMALIAS

A adequação entre os coeficientes é necessária para estabelecer a hierarquia de importância devido à gravidade, causa e consequência para as fachadas cerâmicas. Silvestre (2005) propôs uma matriz de correlação em que as possíveis causas são enumeradas e pontuadas conforme a relação entre a causa e a existência da anomalia com valores de 0 (não há relação), 1 (há uma baixa relação) ou 2 (há uma forte relação). Souza (2019) adaptou e estabeleceu essa relação de causa e consequência oriundas de projeto, execução e uso e manutenção, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de correlação entre as anomalias e as possíveis causas (Souza, 2019).

		Causas	Descolamento	Fissuração	Falha de rejunte	Eflorescência
(A) PROJETO	A1	Especificação incorreta de argamassa de emboço	1	1	0	0
	A2	Especificação incorreta de alvenaria e suporte	1	2	1	0
	A3	Especificação incorreta de argamassa colante	2	1	0	0
	A4	Especificação incorreta de cerâmica e rejunte	2	1	1	0
	A5	Ausência ou paginação incorreta de juntas de dilatação	1	2	1	0
	A6	Especificação incorreta de elementos de fluxo de água	1	1	0	1
(B) EXECUÇÃO	B1	Não atendimento ao tempo de execução	2	1	0	0
	B2	Espessura inadequada de argamassa colante	2	1	1	0
	B3	Falha no assentamento das cerâmicas e rejunte	2	1	1	1
	B4	Falha na execução das juntas de dilatação	1	1	1	1
	B5	Dificuldade de execução em zonas críticas	1	1	1	1
(C) USO E MANUTENÇÃO	C1	Adaptação e instalação de elementos não previstos	1	1	1	1
	C2	Limpeza incorreta ou ausente	0	0	1	0
	C3	Ausência de manutenção das juntas de dilatação	1	0	0	1
	C4	Ausência de manutenção pontual do revestimento	1	1	1	0

Entre os requisitos estabelecidos pela norma brasileira de desempenho NBR 15575-1 (2013), o desempenho dos sistemas de revestimento de fachadas pode ser analisado em elementos relacionados com a segurança estrutural, estanqueidade à água e conforto visual. As anomalias no sistema de vedação não só prejudicam o desempenho estrutural e impermeabilidade, como também podem ter efeitos estéticos indesejáveis e causar desconforto psicológico aos ocupantes. Uma matriz de correlação entre anomalias e critérios de desempenho é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Matriz de correlação entre anomalias e requisitos dos usuários (Souza, 2019).

Requisito	Descolamento cerâmico	Fissura	Falha de Rejunte	Eflorescência
Estrutural	2	2	1	0
Estanqueidade	2	2	1	2
Estática	2	2	1	0

Segundo Souza (2019), a anomalia com maior significado relativo é o descolamento cerâmico. Este resultado está de acordo com alguns pesquisadores (Bauer *et al.*, 2010) que considerou descolamento cerâmico como sendo a anomalia mais significativa. A presença de anomalias desta magnitude nas fachadas está diretamente relacionada com a segurança do ocupante e requer reparações urgentes e dispendiosas (Souza *et al.*, 2019). Embora na matriz de correlação entre as anomalias e os requisitos dos usuários (Tabela 3) considere que não há relação entre a eflorescência e o requisito dos usuários relacionado a estética, Ferreira e Bergmann (2011) afirma que a aferição da eflorescência está relacionada principalmente a questão visual.

2.6. ZONAS DA FACHADA

As causas das anomalias variam, entretanto estas podem ser consideradas prioritárias em certas áreas da fachada. Os comportamentos anômalos devem ser estudados com mais rigor. Alguns pesquisadores Gaspar e De Brito (2005), Freitas *et al.* (2013), Souza *et al.* (2015) e Bauer e Souza (2022) argumentam que a análise da origem e causas das anomalias podem identificar áreas onde estas são mais comuns. Os fatores para a ocorrência de anomalias podem ser atribuídos a cada zona da fachada. Com isso, Silva (2014) para determinar que partes da fachada estão mais frequentemente expostas a anomalias e a preferência das zonas onde estas ocorrem dividiu a fachada em seis zonas. Souza (2016) aprimorou esta subdivisão e respeitou as características comuns do Distrito Federal. Conforme a Figura 8, as zonas são Aberturas (AB), Cantos e Extremidades (CE), Paredes Contínuas (PC), Sacadas (SC), Topo (TO) e Transição de Pavimentos (TP).

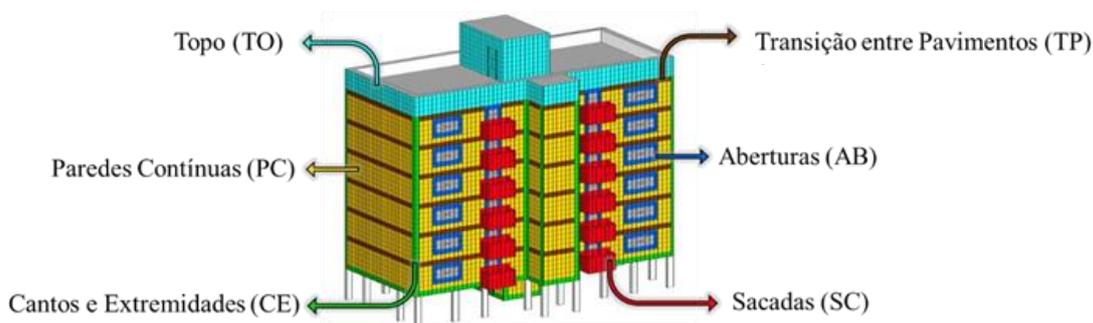


Figura 8 – Delimitação das zonas da fachada (adaptado de Pinheiro, 2016 e Souza, 2019).

As aberturas da fachada são representadas pelo perímetro de contorno às esquadrias. Esses trechos são considerados frágeis, pois são pontos de elevada concentração de esforços. Devido a isso, o uso de vergas e contra vergas são comumente solicitadas, pois essas estruturas

distribuem adequadamente o acúmulo de esforços concentrados. As fissuras nos cantos é o tipo de anomalia mais presente na região das aberturas, entretanto o nível de degradação das anomalias observadas tende a ser mais baixo, ou seja, apesar de frequente esse defeito tem uma gravidade relativamente reduzida (Gaspar e Brito, 2005).

Os cantos e extremidades são zonas de encontro do plano descontínuo de fachada. Semelhante as aberturas, este apresenta um grau elevado de tensões e esforços devido à variação térmica que provoca movimentos de dilatação ou retração. As causas para o surgimento das anomalias configuram principalmente pela ausência da junta de dessolidarização e instabilidade ou sensibilidade aos movimentos estruturais de todo o edifício. Unidades no limite de reentrâncias ou projeções, também devem ser consideradas nessa classificação (Piazarollo, 2019).

As paredes contínuas são representadas pela área da fachada que não possui descontinuidade, ou seja, superfície fechada sem aberturas para esquadrias ou varandas. As paredes contínuas caracterizam por serem áreas sensíveis onde há maior nível de degradação. Essa degradação normalmente é oriunda da baixa resistência do sistema quando solicitado a cargas superiores. Essa baixa resistência é justificada principalmente pela execução incorreta dos elementos estruturais. Exemplifica-se o assentamento das cerâmicas sobre a superfície contaminada, espessura e rigidez da argamassa inadequadas e ausência ou deterioração das juntas (Souza, 2019).

As sacadas são áreas constituintes de guarda corpo e parapeito que sobressaem ao plano da fachada. As anomalias apresentadas de forma comum para as sacadas são semelhantes às de paredes contínuas, ou seja, fissuras e descolamentos. Entretanto, por serem regiões da fachada que apresentam maior exposição ao intemperismo aliado à característica particular do balanço estrutural, as peças cerâmicas estão sujeitas a movimentações diferenciais, esforços mecânico e térmico, além da fadiga (Souza, 2019).

Podem ser classificados como sacadas unidades diretamente sobrepostas à guarda corpos e parapeitos de sacadas em balanço, unidades sobre marquises ou outros elementos que se sobressaiam a fachada, incluindo as unidades que estiverem sobre as extremidades desses elementos. A particularidade dessa zona é o balanço do elemento do edifício (Piazarollo, 2019). Topo refere-se à área acima do último nível, ou seja, uma plataforma, parede ou outro tipo de proteção acima do telhado ou pátio de um edifício. Segundo Piazarollo (2019) são classificados como unidades em áreas revestidas acima da laje de cobertura do último pavimento tipo,

platibandas, paredes ou outro tipo de proteção que se ergam acima da cobertura ou terraço do edifício.

O principal motivo das anomalias no Topo é a incompatibilidade de deformação entre os componentes do sistema de fachada, o que contribui para o aparecimento de anomalias devido às alterações dimensionais, sejam elas causadas pela presença de umidade ou dilatação térmica (Yang *et al.*, 2015; Souza *et al.*, 2016). O fluxo livre de água na fachada sujeita ao elemento de proteção a ações simultâneas como ataque de cloreto, condensação e ataque biológico, devido ao preenchimento dos poros das argamassas (Gaspar e Brito, 2005).

A transição de pavimentos é a área entre pisos, ou seja, áreas que indicam mudanças de andares, até mesmo se possuírem ou não juntas horizontais na divisão de andares (Piazarollo, 2019). Na zona transição de pavimentos a causa da anomalia está geralmente relacionada à baixa resistência mecânica do material ao fornecer tensões causadas pelo movimento na interface entre a alvenaria e a viga. Ou seja, o dimensionamento inadequado ou a falta de juntas cinemáticas que impedem a absorção adequada das deformações ao longo da vida útil do revestimento (Silvestre e Brito, 2010).

2.7. DEGRADAÇÃO: MENSURAÇÃO E MODELAÇÃO

O projeto Degradação: Mensuração e Modelação (DMM_{Project}) foi criado por pesquisadores da Universidade de Brasília com o objetivo de estudar e compreender o processo de degradação de fachadas de edifícios (Bauer *et al.*, 2020). Neste projeto foi desenvolvido o Método de Mensuração de Degradação (MMD), em que o escopo deste método uniformiza as diferentes etapas de inspeção e quantificação da degradação e a mensuração da degradação de fachadas de edifícios é realizada por meio de indicadores de degradação. Consequentemente, por ser um processo organizado, lógico e sistemático, esta uniformização facilita a avaliação da condição de degradação.

Para uma fase prévia são obtidas as informações preliminares, identificando a história de intervenções e manutenções, o arranjo arquitetônico do edifício, a exposição às intempéries, documentação das principais regiões deterioradas e projetos iniciais para a descrição das características físicas ou geométricas. O registro fotográfico de todas as fachadas do empreendimento estudado é primordial para essa etapa (Bauer *et al.*, 2012).

A primeira etapa do MMD é a inspeção de fachadas. Esta etapa trata de uma vistoria feita na fachada para identificação das anomalias e o estado aparente de degradação. Essa análise inicial é caracterizada por utilizar mecanismos não destrutivos para manter a integridade

do sistema de revestimento. Entre as técnicas reconhecidas para esta etapa estão o ensaio de percussão, câmeras termográficas e ensaio de aderência, conhecido por *pull-out*, sendo o último caracterizado por ser destrutivo. Estas técnicas registram a composição e os detalhamentos construtivos dos materiais utilizados para o revestimento a fim de mapear as anomalias e a extensão de ocorrência nas diferentes fachadas do edifício.

O ensaio a percussão, ilustrado na Figura 9, é preconizado pela norma brasileira ABNT NBR 13749 (2013). Este ensaio identifica problemas de aderência entre o revestimento e a argamassa colante ou entre a argamassa colante e a base construtiva. As peças cerâmicas mal aderidas são identificadas através de um som cavo emitido ao golpear as peças com um martelo de náilon. Entre as principais vantagens deste método é destacado a redução de custos com reparo, a prevenção de problemas com infiltração, trincas e rachaduras, a preservação da vida útil e aparência das fachadas e a prevenção de acidentes relacionados ao desprendimento de placas cerâmicas.



Figura 9 – Ensaio de percussão na inspeção.

O uso de câmeras termográficas melhora as atividades de inspeção, pois aumentam o detalhamento e possibilitam a identificação anomalias que não podem ser notadas na inspeção visual inicial, como mostrado na Figura 10. A captação da luz infravermelha possibilita transformá-la em uma faixa visível do espectro à diferenciação de tonalidades da imagem registrada, logo permitindo identificar a presença ou ausência de umidade e registrar a temperatura da superfície.

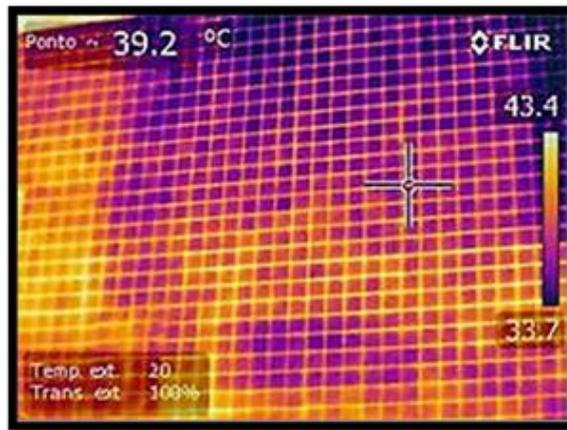


Figura 10 – Ensaio realizado com câmera termográfica (Souza *et al.*, 2018).

De acordo com a ABNT NBR 13528 (2010), aderência é a propriedade que permite verificar a capacidade do revestimento de resistir às tensões atuantes na interface com o substrato. Sendo assim, a resistência de aderência por tração é a tensão máxima suportada por uma área limitada de revestimento na interface de avaliação quando submetido a um esforço normal de tração. Como preconizado pela norma ABNT NBR 13528 (2010), a tipologia de ruptura do ensaio *pull-out* é utilizada para identificar e mensurar a aderência da peça (Figura 11).

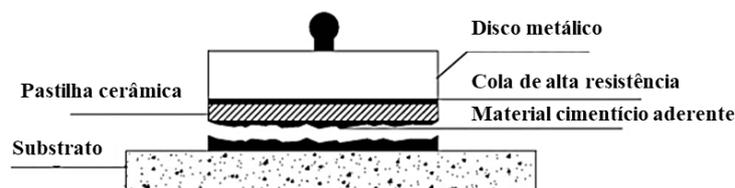


Figura 11 – Método de teste *pull-out* (adaptado de Sá, 2005).

Segundo Garrido (2012) e Silva (2014), é necessário determinar em que direção a fachada a ser verificada está orientada. Geralmente, as habitações no Distrito Federal são edifícios independentes uns dos outros, ou seja, não adjacentes. A orientação pode ser definida em função do azimute e enquadrar-se nas quatro principais direções: Norte, Sul, Leste e Oeste. A Figura 12 mostra exemplos de definições e critérios de orientação para fachadas de edifícios.

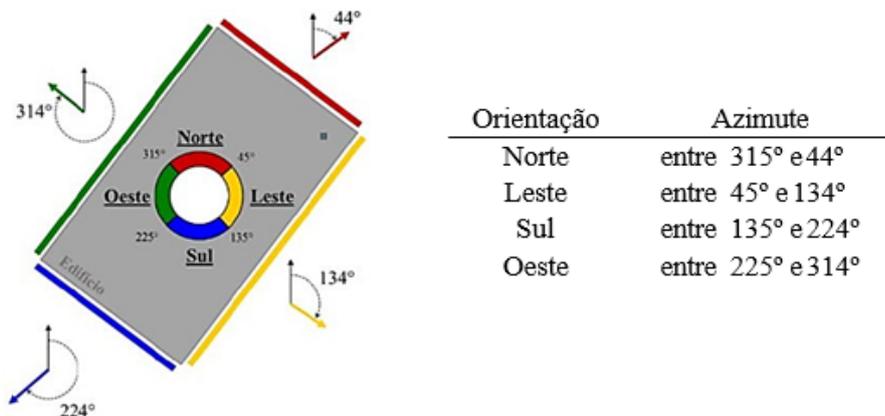


Figura 12 – Exemplo de orientação a ser considerada, em função do azimute (Souza, 2019).

A segunda etapa consiste no mapeamento de danos. Nesta etapa é realizada a elaboração de diagramas esquemáticos que registram as anomalias detectadas durante a inspeção. A fase de mapeamento de danos define as amostras da fachada representadas por uma das seções ou trechos, como mostra a Figura 13. A definição da amostra da fachada requer atenção aos critérios de limitação. Estes critérios são representados pela presença de juntas de movimentação verticais, existência de descontinuidades no plano da fachada (ressaltos ou reentrâncias). De acordo com Souza (2016), quanto maior for a área da fachada, maior será a probabilidade de existir maiores áreas de anomalias, pois isso é recomendado limitar a área da amostra a não mais de 500 m², caso os critérios de definição da amostra não sejam atendidos.



Figura 13 – Subdivisão das amostras da fachada (Bauer e Souza, 2022).

A quantificação da degradação é realizada para obter o índice de degradação. Para este fim, uma malha de 0,50 m x 0,50 m é sobreposta ao mapeamento da danos, sendo contabilizado cada unidade de malha. Após a sobreposição da malha, as unidades de malha são definidas para cada andar e posteriormente definidas as regiões da fachada (Bauer *et al.*, 2014; Silva, 2014). A Figura 14 ilustra um exemplo de mapeamento de anomalias baseado em análises visuais e fotográficas.

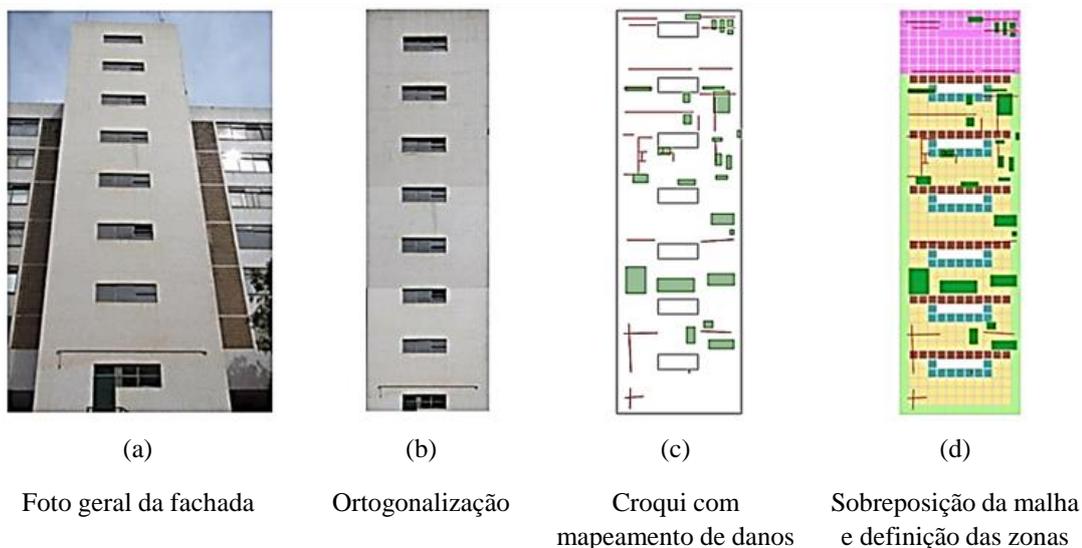


Figura 14 – Processo de inspeção, mapeamento e sobreposição de malha (Souza, 2019).

2.8. INDICADOR DE DEGRADAÇÃO

O primeiro indicador de degradação apresentado pelo MMD trata do Fator de Danos (FD), ao qual permite ter um parâmetro inicial de degradação que identifica alguma tendência de comportamento de deterioração da fachada. Entretanto, esse índice não considera a importância de cada anomalia na degradação do sistema de revestimento. Desse modo, o Fator Geral de Degradação (FGD) foi desenvolvido para melhorar a acurácia nos estudos de degradação de edifícios no âmbito do Distrito Federal e auxiliar na determinação do grau de degradação. O FGD pode ser analisado em função do tempo expressando o processo de degradação por meio de curvas gráficas. Conforme a equação 1, o índice é obtido por meio da razão entre a área degradada ponderada por pesos referentes aos tipos de anomalias e a área de referência e a área total ponderada pela pior condição.

$$FGD = \frac{\sum(A_{d(n)} \cdot k_n \cdot k_{c(n)})}{A \cdot \sum k_{m\acute{a}x}} \quad \text{Equação 1}$$

Em que $A_{d(n)}$ é a área de fachada afetada por n tipos de anomalias em m^2 , k_n é o coeficiente denominado nível de condição da anomalia n contido no intervalo de 1 a 4, $k_{c(n)}$ é o coeficiente denominado importância relativa da anomalia n , A é a área da amostra de fachada em m^2 , $k_{m\acute{a}x}$ é a constante equivalente ao nível da pior condição ($k_{m\acute{a}x} = 14 = 4 + 4 + 3 + 3$) e n é a referência do tipo de anomalia ($n = 1$ descolamento cerâmico, $n = 2$ fissuras e $n = 3$ falha de rejunte, $n = 4$ eflorescência).

2.9. CARTOGRAFIA

Os mapas são oriundos das ciências cartográficas. A metodologia dessa ciência permite analisar, de forma eficaz e estratégica, a complexidade do espaço terrestre cujo o globo é baseado, observando as intersecções dos múltiplos conjuntos espaciais que podem formar e isolar pelo raciocínio e pela análise precisa de configurações cartográficas (Kainz, 2020). Novas mídias e métodos eletrônicos e computacionais transformaram a produção e apresentação das informações cartográficas. Entretanto, ainda sob responsabilidade dessa ciência, a cartografia tem o dever de planejar e executar o planejamento sistemático (Robinson *et al.*, 1995).

Segundo Menezes e Fernandes (2013), a relação com a geografia outorga que, tanto fenômenos de ordem física quanto os de ordem social, sejam generalizados e apresentados em representações planas ou tridimensionais, impressas ou virtuais. A grande vantagem dessas representações está na compacidade e facilidade de assimilação do usuário, permitindo uma visão prática de um dado recorte espacial. Além disso, há a topografia, ramo da cartografia, que por meio de plantas com curvas de nível pode representar o relevo, inclusive as elevações e depressões. A planimetria, primeira divisão principal da topografia, mede as grandezas de um plano horizontal e a altimetria, segunda divisão principal, mede as grandezas do plano vertical (Campos Borges, 2013).

Do ponto de vista administrativo, os mapas temáticos podem ser usados como referenciais para obras públicas, projetos de intervenções, controle de recursos naturais e para a logística das atividades econômicas. Em termos gerais, a cartografia pode oferecer relevantes condições de trabalho para projetos, área ambiental e gestão territorial, tanto para a academia quanto para administração pública. A aplicação da cartografia pode ser representada pela Figura 15.

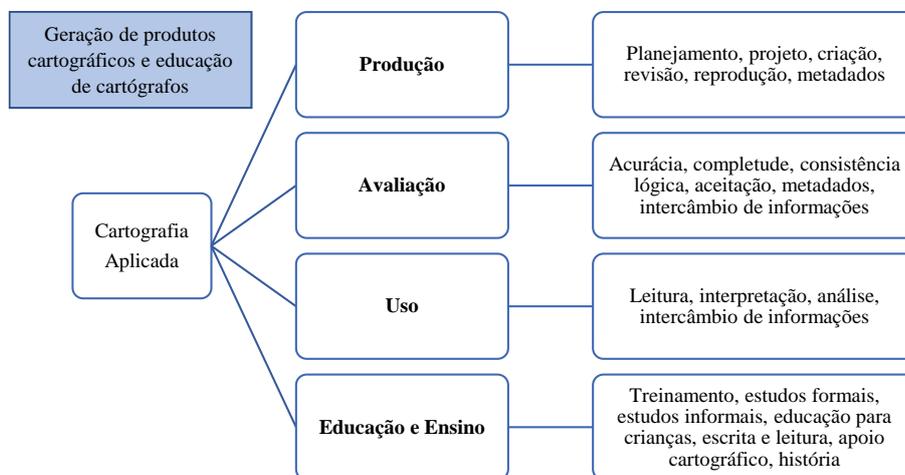


Figura 15 – Conceitos de cartografia e seus produtos (Menezes e Fernandes, 2013).

A degradação pode ser entendida como a redução do desempenho devido a fatores internos ou externos ao elemento ou sistema (Azevedo, 2022). A norma ASTM E 632 (1996) divide a conceituação de degradação em duas partes: mecanismo de degradação e fator de degradação. A primeira seria uma sequência de alterações químicas e/ou físicas que, quando expostas a um ou mais fatores degradantes, causam alterações prejudiciais em uma ou mais propriedades de um componente ou material de construção. Já a segunda parte refere aos fatores externos que pode afetar negativamente o desempenho dos componentes do edifício, incluindo fatores climáticos, biológicos, de stress, de incompatibilidade e de utilização.

A deterioração das fachadas é o resultado da ação combinada de agentes nocivos que estão entrelaçados com vários fatores. Os diferentes agentes nocivos que atuam no sistema de fachada e prejudicam a durabilidade, bem como as condições em que o processo de falha tem lugar, devem ser considerados no projeto. Uma vez comprometida a durabilidade, a vida útil do sistema é reduzida (Madureira *et al.*, 2017). As causas e o comportamento da degradação não são completamente compreendidos, uma vez que vários fatores que afetam o mecanismo de degradação atuam sinérgica e simultaneamente (Rudbeck, 1999).

Gaspar e Brito (2005) produziram gráficos de risco mapeando padrões de degradação que podem ser utilizados como ferramenta para aumentar a durabilidade de fachadas de reboco de argamassa. A literatura sobre a restauração de patrimônio histórico apresenta uma série de pesquisas sobre mapeamento de danos em monumentos históricos. Del Pozo (2016) mapeia anomalias em fachadas de monumentos históricos. Russo *et al.* (2018) utilizam um mapa da degradação para apoiar análises de restauração e também como metodologia de apoio para inspeção de fachada. Ruggiero *et al.* (2021) propõem uma ferramenta fácil, como um mapa, para priorizar as intervenções de mitigação de riscos. Tal ferramenta, quando integrada aos planos de manutenção, permite avaliar a necessidade de intervenções, no âmbito da manutenção condicionada. Costa e Torres (2021) utilizaram o conceito de mapas de danos como estudo em levantamento visual e fotográfico para tentar mensurar a degradação de forma estatística, como ilustrado na Figura 16. Verdum e Bersch (2021) usaram mapas de danos para identificar e quantificar os danos em fachadas argamassadas de edifícios históricos, além de subdividir a zonas da fachada. Torres-González *et al.* (2023) apresentam o método que permite mapear manchas em fachadas e classifica-las a partir de uma análise sistemática de cores. Em termos gerais, a correlação dos temas é ainda incipiente e demonstra campo vasto de investigação, pois as pesquisas apresentam objetivos e finalidades diferentes e o hiato de tempo relacionado as pesquisas com essa temática é relevante.

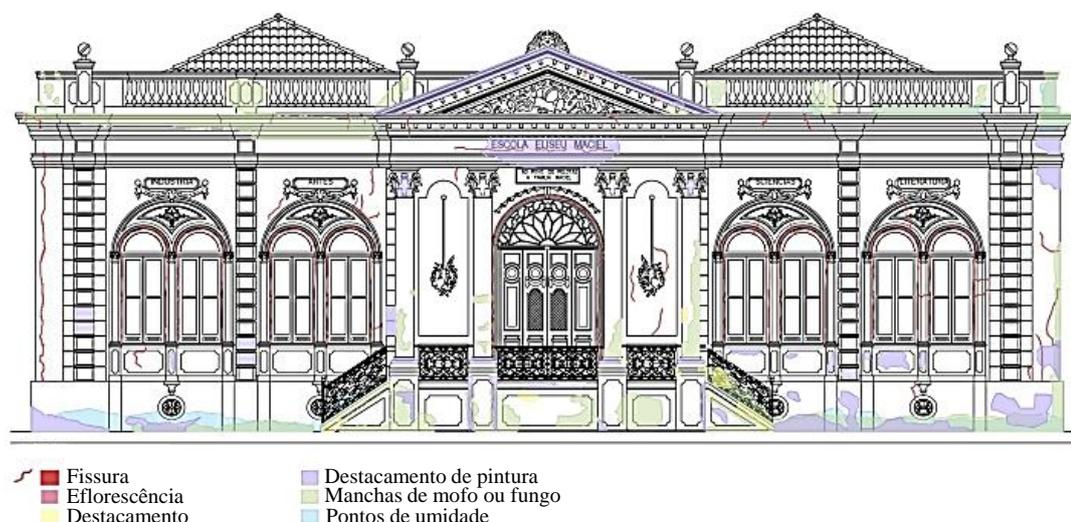


Figura 16 – Mapa de danos (Costa e Torres, 2021).

2.10. GESTÃO DA MANUTENÇÃO

A realização adequada da manutenção das edificações e instalações faz com que o tempo de vida útil seja prolongado e a segurança dos usuários seja preservada. A complexidade e ineficiência na execução da manutenção são oriundos da falta de informações, aumentando a dificuldade da tomada de decisão por parte dos proprietários. Devido à manutenção ser uma prática ausente ou ínfima, o índice de degradação dos elementos estruturais aumenta a cada dia. Assim, percebe a necessidade do planejamento das atividades de manutenção para que as anomalias possam ser corrigidas ainda no início, antes que se propaguem e prejudiquem o desempenho da edificação. Para Azevedo (2022) o conceito de manutenção é conjunto de atividades a serem realizadas para conservar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes atendendo às necessidades e segurança de seus usuários considerando os padrões aceitáveis de uso.

As estratégias de manutenção são necessárias para controlar as fases iniciais de deterioração e para evitar danos nos elementos de construção. A escolha da estratégia mais econômica e adequada permite maior controle orçamentário, bem como a minimização da redução do desempenho ao longo do ciclo de vida do edifício (Flores-Colen *et al.*, 2010). A ABNT NBR 5674 (2012) trata sobre a necessidade de manutenções preventivas e correta gestão através de um plano de manutenção a serem executados pelos proprietários das unidades privativas e pelo administrador do condomínio. Esta norma informa que em cerca de 1% a 2% do custo inicial são gastos com as manutenções, quando previamente planejado e esse valor acumulado ao longo da vida útil equivale ao custo igual ou superior de toda a construção.

Segundo Dahanayake e Sumanarathna (2022), normalmente o ativo é planejado e construído para ter um período determinado de serviço ou operação, respeitando a vida útil mínima. Registros e históricos de dados suficientes podem resultar em uma adequada manutenção, caso contrário as medidas adotadas podem ser insuficientes ou inadequadas. Lacunas de transferências de informações e no compartilhamento entre as fases de planejamento e construção podem acarretar em problemas futuros de gerenciamento das manutenções, conforme cita Tan *et al.* (2018).

A elaboração, implantação e gestão de um plano de manutenção preventiva são essenciais para a manutenção dos níveis de desempenho ao longo da vida útil projetada, de segurança dos usuários e das características socioculturais, com uma economia substancial de recursos financeiros. É imprescindível que a manutenção preventiva não seja adiada e que inicie assim que o edifício é colocado em serviço. Uma vez que a manutenção exerce um papel crucial no ciclo de vida das edificações, não pode ser realizada de maneira improvisada, esporádica ou casual. É fundamental adotar critérios técnicos e racionais para sua execução. As atividades de manutenção devem ser encaradas como um processo programado e um serviço técnico, representando um investimento na preservação do valor do imóvel (Petersen *et al.*, 2023).

A norma ABNT NBR 15575-1 (2021) regula o projeto ou aplicabilidade de componentes de um edifício para satisfazer as necessidades de construção. Esta norma define condições prévias de projeto, tais como vida útil, desempenho, durabilidade e manutenção, bem como parâmetros técnicos, tais como acústica e isolamento térmico.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo é explanado sobre as metodologias adotadas para a pesquisa. A metodologia empregada consiste em três fases (Figura 17). A primeira fase concentra no estudo de caso avaliado na cidade de Brasília, Brasil e é dedicada para criação do modelo de fachada padrão. A segunda fase demonstra os cálculos de probabilidade e sensibilidade das fachadas. Por fim a última fase consiste na confecção dos mapas padrões de degradação.

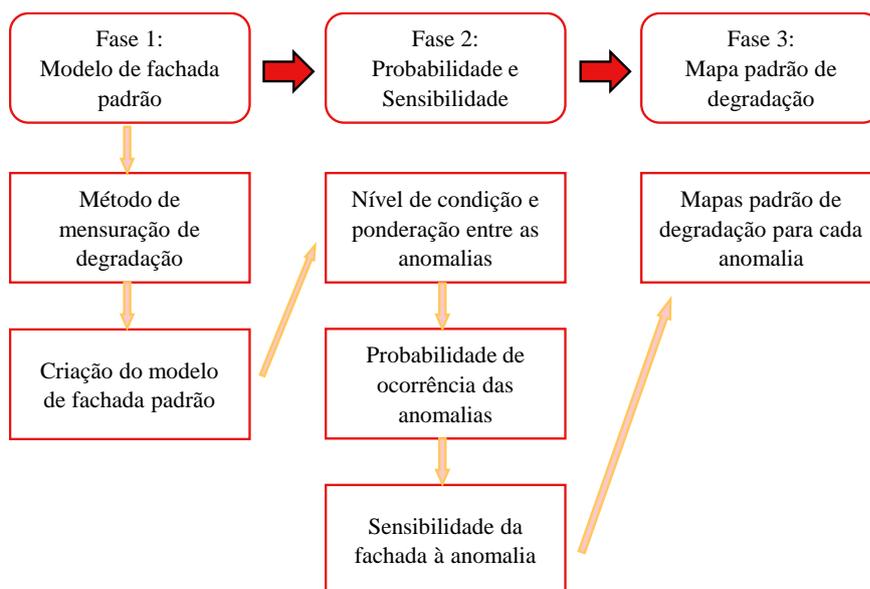


Figura 17 – Fluxograma metodológico.

3.1. MODELO DE FACHADA PADRÃO

Na primeira fase foram analisadas 345 amostras de fachadas de edifícios de Brasília. Estas amostras compunham a base de dados fornecida pelo projeto DMM e foram obtidas por meio de inspeção, seguido do mapeamento de danos e identificação das anomalias de descolamento cerâmico, fissuras, falha de rejunte e eflorescência. Além disso, as amostras foram caracterizadas pelo número de pavimentos, idade, elemento construtivo, cor e dimensão da pastilha cerâmica, absortância, orientação e, por fim, área do plano de fachada. A mensuração de degradação é obtida pelos indicadores resultantes do Método de Mensuração de Degradação (MMD).

Apesar das amostras apresentarem semelhanças, estas não são idênticas. Segundo Souza (2019) e Bauer e Souza (2022) a região de Brasília pode ser representada por uma fachada típica, uma vez que há uma padronização na tipologia dos edifícios. A Figura 18 refere-se a uma fachada similar ao das amostras da base de dados, ao qual representa as demais.

Considerando isto, para facilitar a elaboração dos mapas de degradação foi criado o modelo de fachada padrão.



Figura 18 – Fachada exemplo similar à base de dados.

3.2. PROBABILIDADE E SENSIBILIDADE

Baseado na pesquisa de Gaspar e Brito (2005) foram obtidos os indicadores de probabilidade de ocorrência (P_A) e de sensibilidade da fachada à anomalia (S_A). A probabilidade de ocorrência de uma anomalia pode ser calculada pela multiplicação entre a frequência de ocorrência da anomalia (f_A) e o nível de condição da anomalia (dl_A), como expresso pela equação 2.

$$P_A = f_A \cdot dl_A \quad \text{Equação 2}$$

A frequência de ocorrência da anomalia (f_A) permite uma avaliação de intensidade nas zonas. Este indicador pode ser calculado pela razão entre a área afetada da zona e a área total da zona em cada amostra da base de dados, como apresentado pela equação 3.

$$f_A = \frac{A_{dz}}{A_z} \quad \text{Equação 3}$$

Em que A_{dz} é a área degradada da zona z , A_z é a área da zona z em m^2 e z é zona de referência (paredes contínuas, aberturas, sacadas, cantos e extremidades, transição entre pavimentos, topo).

Baseado na extensão da degradação, o nível de condição (dl_A) estabelece um nível hierárquico de degradação consoante ao grau de ocorrência de anomalias. A Tabela 4 apresenta os critérios adotados.

Tabela 4 – Coeficientes referentes ao nível de condições das anomalias (Souza, 2019).

Nível de condição	$dl_{(A)}$	% de área degradada			
		Descolamento cerâmico	Fissuração	Falha nas Juntas	Eflorescência
1	Condição boa (aceitável)			0,1	0,1
2	Condição de degradação pontual	0,05	0,2	0,3	0,3
3	Condição de estado limite de serviço	0,3	0,5	maior que 30%	maior que 30%
4	Condição de estado limite último	maior que 30%	maior que 50%		

A sensibilidade da fachada pode ser calculada pelo produto entre probabilidade de ocorrência de uma anomalia dado a um nível de gravidade P_A e o peso relativo entre as anomalias Rw_A . Este indicador expressa a sensibilidade de uma fachada a uma determinada anomalia (Equação 4).

$$S_A = P_A \cdot Rw_A \quad \text{Equação 4}$$

Em que P_A é a probabilidade de ocorrência de uma anomalia e o Rw_A é peso relativo entre as anomalias.

O peso relativo entre as anomalias Rw_A trata de uma constante de ponderação para estabelecer um grau de relação de causas e anomalias. Essas anomalias podem ser oriundas de projeto, execução ou uso e manutenção. A outra relação estabelecida vem da matriz de correlação entre anomalias e os requisitos dos usuários, que também pontua o grau de relação com os requisitos: estrutural, estanqueidade e estética. Conforme proposto por Silvestre e Brito (2011) a relação entre a causa e a existência da anomalia pode ser definida com valores de 0 (não há relação), 1 (há uma baixa relação) ou 2 (há uma forte relação). Os valores do peso relativo entre as anomalias estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5 – Coeficiente referente peso relativo entre anomalias para o Rw_A (Souza, 2019).

Anomalia	Peso relativo
Descolamento cerâmico	1,00
Fissuras	0,77
Falha de rejunte	0,28
Eflorescência	0,11

3.3. CONFECCÃO DOS MAPAS PADRÃO DE DEGRADAÇÃO

O conceito de mapas é a premissa para a utilização de gráficos bidimensionais como ferramenta de visualização estatística (Gaspar e Brito, 2005). A confecção dos mapas padrão de degradação, representados por gráficos em *software* CAD (*Computer-Aided Design*), é baseada no modelo de fachada padrão e nos indicadores de probabilidade e sensibilidade à degradação.

Os valores de sensibilidade foram sobrepostos ao modelo de fachada padrão e dispostos nas regiões das zonas de fachadas correspondentes. Uma vez que os resultados de sensibilidade são diferentes para cada anomalia, cada mapa padrão de degradação refere-se a uma determinada anomalia. É importante destacar a inserção dos valores são delineados pelas arestas das zonas.

Existem alguns modelos de representação de terreno baseado nas Triangular Irregular Network (TIN), como ilustrado na Figura 19. Ibrahim *et al.* (2022) utilizou o TIN para obter uma função modelo em toda região de estudo e afirma que não é necessariamente contínuo e distinto no que diz respeito a todos os pontos do domínio espacial. Nos dados do altímetro existem descontinuidades, por exemplo na precipitação, caso em que é comum utilizar funções lineares, ou funções definidas em pequenas áreas do domínio de interesse (Clark *et al.*, 2021).

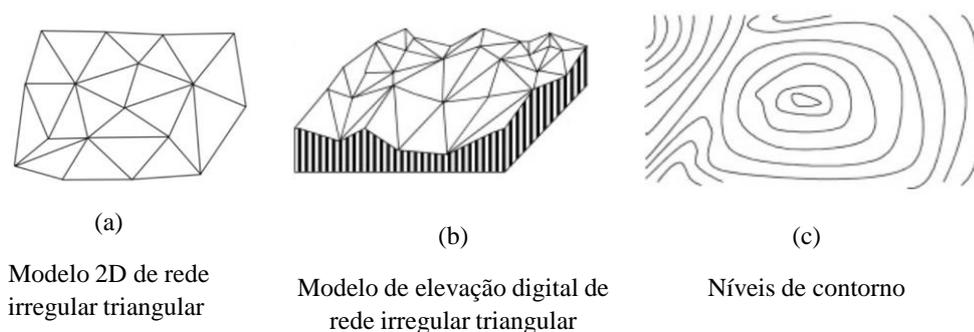


Figura 19 – Exemplos de representação de terreno (adaptado de Laurini, 2017 e Liang e Wang, 2019).

Segundo Camara e Medeiros (1998) a geração do modelo de malha consiste na construção de malhas regulares ou irregulares e na definição de funções de interpolação local. Estas funções são definidas para cada elemento da grelha. Assim, para cada elemento básico da malha, retângulo ou triângulo, são definidas funções de interpolação válidas para pontos dentro do elemento. Este processo chama-se ajuste de superfície. Cada função de ajuste, que geralmente um polinômio, é definida utilizando os vértices do elemento ou aplica aos vértices dos elementos vizinhos.

A técnica de interpolação linear para curvas de nível foi desenvolvida posteriormente. Tan e Xu (2014) descrevem uma metodologia para o ajustamento da superfície geológica com interpoladores estocásticos válida para modelos de grelha triangular. A principal ideia incluída nesta metodologia estocástica é simular a natureza fractal da informação presente em fenômenos geográficos como o relevo, isto é, um objeto geométrico que pode ser dividido em várias partes ao qual cada uma se assemelha ao objeto original (Gold, 2020).

Felgueiras e Goodchild (1995) definiram como Modelo Numérico de Terreno (MNT), uma representação matemática computacional da distribuição dos fenômenos espaciais que ocorrem numa área da superfície terrestre. Exemplos típicos de fenômenos representados pelo MNT incluem dados topográficos, informação geológica, levantamentos da profundidade dos oceanos e dos rios, informação meteorológica e dados geofísicos e geoquímicos. O processo de geração de constitui em três etapas amostragem, modelagem e aplicações. Segundo Felgueiras e Goodchild (1995), as aplicações podem ser qualitativas, tais como a visualização do modelo usando-se projeções geométricas planares ou quantitativas tais como cálculos de volumes e geração de mapas de declividades.

Todos os mapas de probabilidade possuem as zonas bem definidas, as quais são classificadas pelo nível de incidência da coloração representada, ou seja, quanto mais clara a coloração, menor a probabilidade de ocorrência da anomalia.

Os mapas de sensibilidade adotam os limites inferior e superior de sensibilidade para zona para a definição do intervalo para intercalar as curvas de nível. Visando a objetividade visual, o mapa foi limitado a seis curvas de nível. A coloração das curvas é baseada na hierarquia de crescimento que alarme, ou seja, cores mais quentes apresentam valores maiores e as cores mais frias apresentam valores menores.

O modelo de fachada padrão é tratado como um plano topográfico ao qual é representado por curvas de nível adaptadas aos valores de sensibilidade. Por exemplo, supondo-se para o mapa padrão de degradação para a anomalia descolamento cerâmico se têm resultados

hipotéticos que variam desde 0 até 4. Devido a isso, se adere valores para as curvas de nível dentro do intervalo obtido. Para o cálculo das retas de interpolação foi aplicada a equação 4.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad \text{Equação 5}$$

Onde d_{ij} é o valor de distância da amostra j ao ponto i da grade. x_i se refere aos valores no eixo das abscissas no plano cartesiano e y_i se refere aos valores no eixo das ordenadas no plano cartesiano.

Estabelecidos os valores das distâncias entre dois pontos para malha triangular formada, dentro da fachada fictícia, interligam-se os mesmos pontos que possuem valores equivalentes, com retas curvas pelos comandos disponibilizados pelo *software* CAD. Dessa forma é gerado as curvas de nível que representam um conjunto imaginário de linhas que ligam pontos com a mesma altitude.

4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Este capítulo contempla os resultados seguidos de uma análise da metodologia aplicada. Inicialmente é apresentado o modelo padrão de fachada, seguido da obtenção dos indicadores de probabilidade e sensibilidade. Por fim, é discutido os resultados dos mapas de probabilidade e mapas de sensibilidade para cada anomalia.

4.1. MODELO DE FACHADA FICTÍCIA PADRÃO

De forma a considerar a tipologia construtiva dos edifícios que contemplam a base de dados, foi feito um croqui do elemento construtivo atribuindo as principais características das amostras e levando em conta a delimitação das zonas. O modelo de fachada fictícia padrão representa as amostras de edifícios de Brasília. Como mostrado pela Figura 20, o modelo de fachada fictícia padrão é constituída por dois andares e apresenta o *pilotis*, sistema estrutural de sustentação formado por um conjunto de pilares comum para os edifícios locais, como também apresenta a subdivisão das regiões de fachada (aberturas, cantos e extremidades, paredes contínuas, sacadas, topo e transição entre pavimentos).

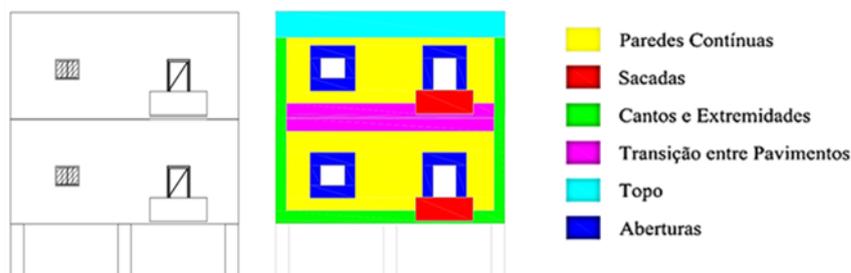


Figura 20 – Fachada fictícia padrão para estudo das zonas.

O conjunto estrutural que forma o *Pilotis* está presente como tipologia construtiva típica da região, por consequência apresenta ausência de fachadas no andar térreo, o que concorda com os modelos adotados por Antunes (2010), Souza (2016) e Piazzarollo (2019). Vale ressaltar que a simplicidade adotada ao desenho executado se faz necessário para facilitar a compreensão dos mapas produzidos.

4.2. NÍVEIS DE CONDIÇÃO DE DEGRADAÇÃO

Os resultados dos níveis de condição de degradação (dl_A) são analisados por zona e por anomalia. Os níveis adotados referem-se a sem degradação (nível 0), boa condição (nível 1), degradação leve (nível 2), degradação moderada (nível 3) e degradação generalizada (nível 4).

A Figura 21 expressa a frequência de ocorrência do nível de condição de degradação para cada zona.

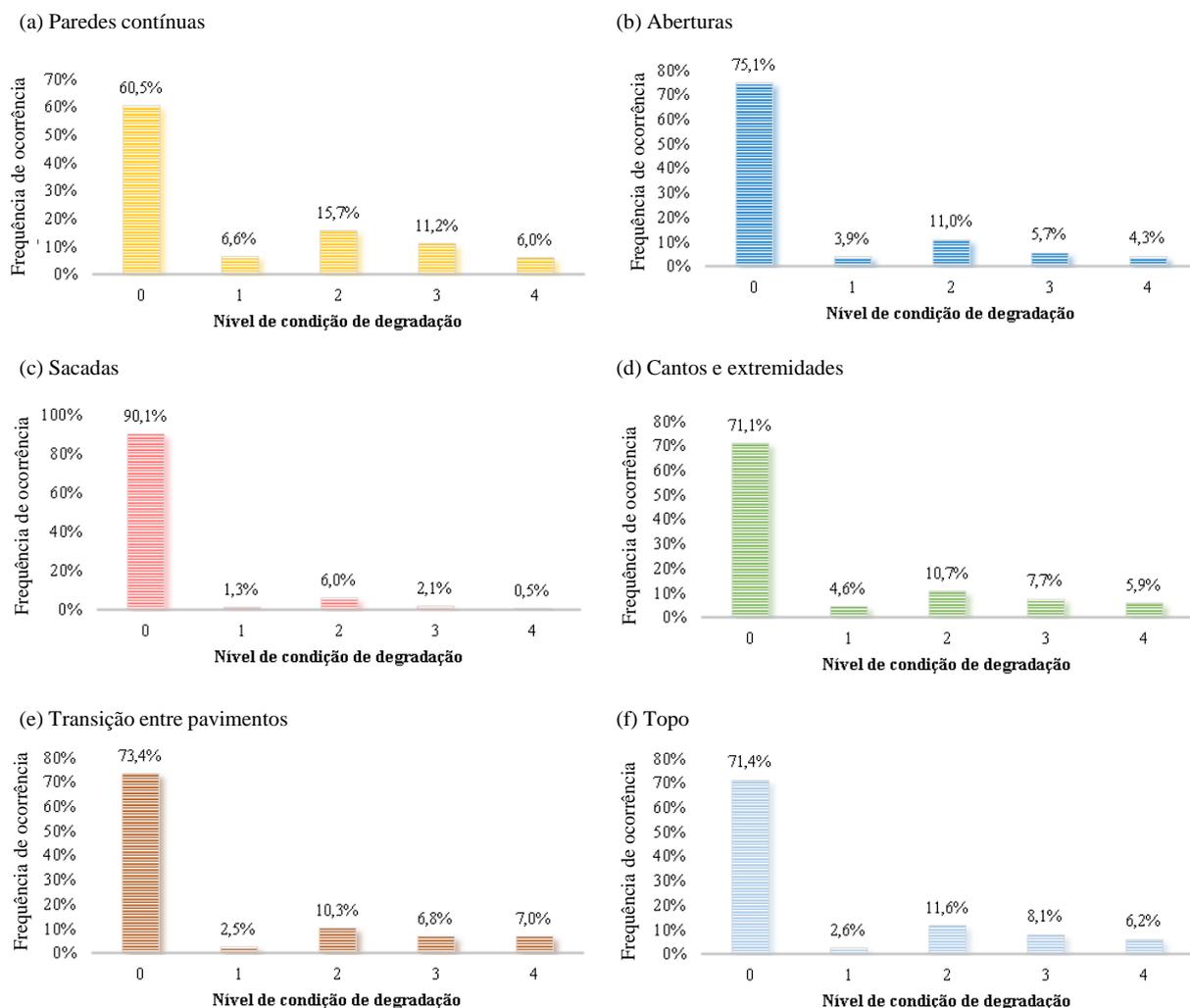


Figura 21 – Frequência dos níveis de degradação para cada zona.

A Figura 21 mostra que mais de 60% das amostras estão na condição sem degradação independente da zona. Quando é desconsiderado as amostras na condição sem degradação, todas as zonas apresentam maiores frequências no nível de condição 2 (degradação leve), representando aproximadamente 10% das amostras. Este comportamento é justificado pela influência do grau de gravidade das anomalias descolamento cerâmico e fissura. Ambas anomalias ocorrem com maior frequência no grupo amostral e quando há a presença destas anomalias são classificadas para o nível de condição 2, devido à importância da anomalia. Para a maioria das zonas a frequência de amostras nas condições 3 e 4 são inferiores a 10%. Uma vez que o tempo é um fator de degradação importante e que as amostras são de edifícios

relativamente jovens (idades inferiores a 60 anos), é natural que o grupo amostral seja caracterizado por amostras sem condições críticas.

Através do estudo dos níveis de degradação é possível calcular este índice por anomalia. A Figura 22 expressa a frequência de ocorrência do nível de condição de degradação para cada anomalia. Vale ressaltar que o descolamento e a fissura não são classificados como boa condição (nível 1), pois cerâmica em processo de descolamento ou fissura em estágio inicial, já configuram uma degradação leve, devido a severidade dos possíveis danos destas.

Na Figura 22a é possível notar que na condição de degradação generalizada, quando é considerado apenas o descolamento cerâmico, a frequência é maior na zona de Transição entre Pavimentos (24%). As zonas que apresentaram comportamento oposto, ou seja, condição aceitável de degradação, foi a zona de sacadas representando 78% das amostras.

Em relação aos níveis de degradação para fissura destacam-se as zonas de Transição entre Pavimentos e Topo, pois apresentam as maiores quantidades de amostras quando relacionados à classificação mais alta de degradação. Em contrapartida e repetidamente, as zonas de sacadas foi a zona com níveis de degradação mais baixos, com ocorrência de 89%, conforme Figura 22b. Ao citar a anomalia falha de rejunte (Figura 22c), as zonas com maiores ocorrências na classificação de condição de degradação generalizada foram Transição entre Pavimentos (3%) e Topo (2%). Contudo, mais uma vez a zona de sacadas foi a zona que apresentou níveis de degradação mais baixos, com ocorrência notória de 95%.

Diferente das demais anomalias, a eflorescência apresentou ocorrência maiores que 90% para a condição sem degradação (nível 0) para todas zonas. Cabe destacar que na condição de degradação generalizada (nível 4) as zonas que apresentaram eflorescência foram Paredes Contínuas, Cantos e Extremidades e Transição entre Pavimentos (Figura 22d).

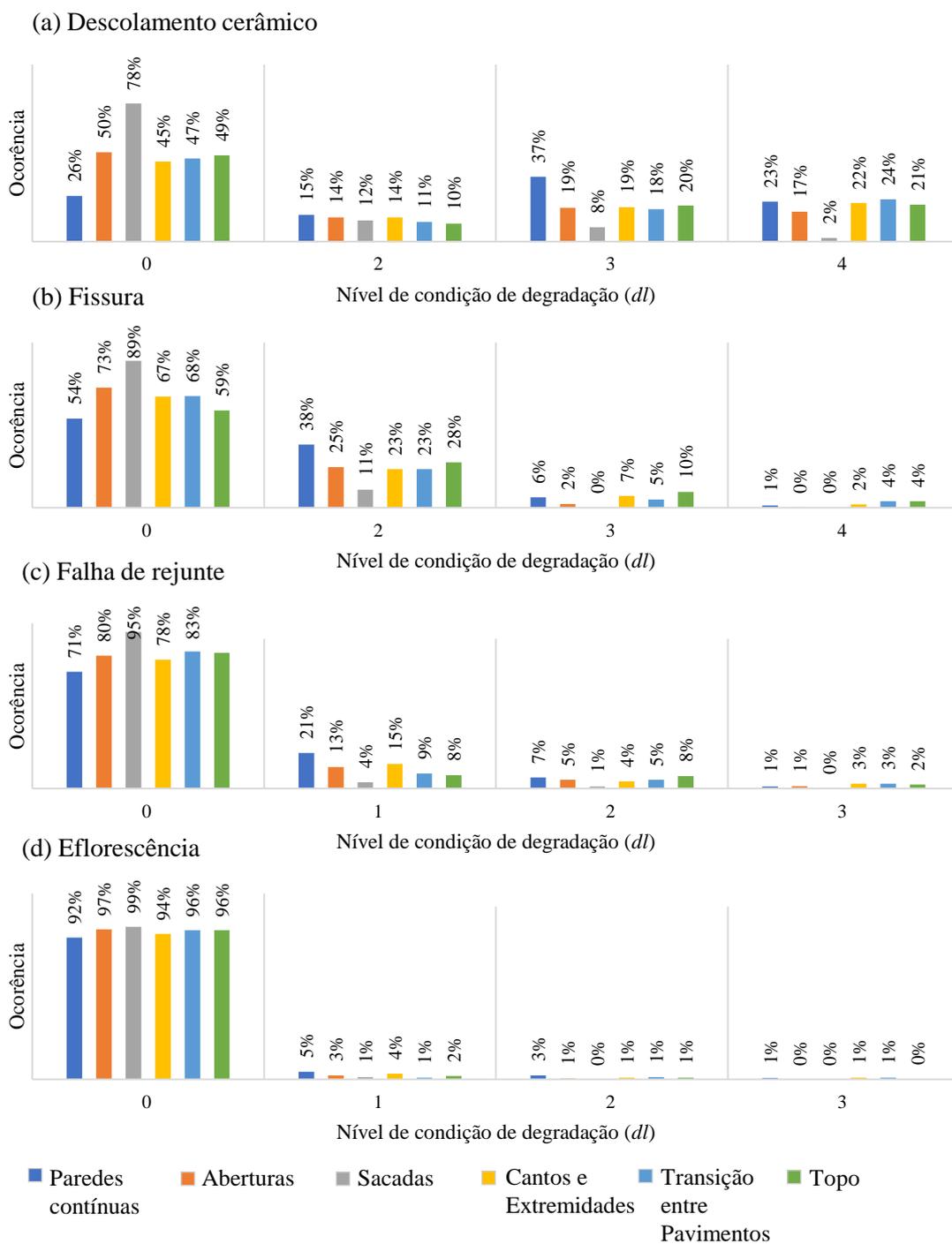


Figura 22 – Frequência dos níveis de degradação para cada anomalia.

A análise dos níveis de condição de degradação para zonas e para anomalias realçam alguns pontos coesivos. Da análise geral, observa-se que a maioria das amostras estão na condição sem degradação Figura 23.

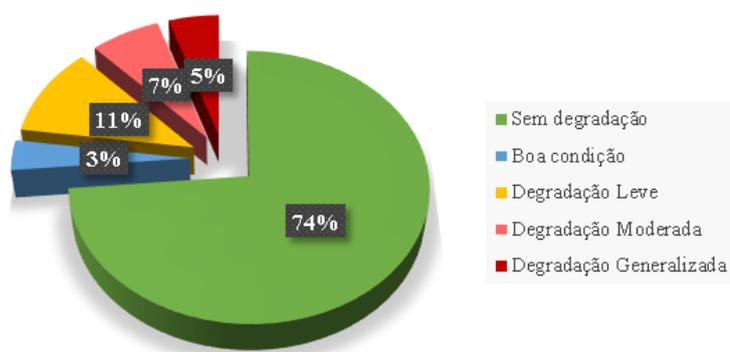


Figura 23 – Níveis de degradação geral das amostras.

Em uma análise por zona, destaca-se a zona de sacadas com maior parte das amostras sem degradação e as zonas de paredes contínuas que apresenta uma tendência maior de distribuição dos níveis de degradação. As paredes contínuas são regiões que apresentam a maior incidência de anomalias devido a maior extensão quando comparada às demais regiões da fachada.

A zona transição entre pavimentos foi notavelmente a zona que possui o maior quantitativo de amostras na condição de degradação generalizada. Isto indica que a zona transição entre pavimentos é preponderante para a ocorrência de anomalias nos níveis de maior deterioração. Esta análise permite identificar que, frequentemente, a Transição entre Pavimentos encontra-se em condições críticas, convergindo com as pesquisas de Silva (2014) e Souza (2016). Além desta zona ser uma extensão de Paredes Contínuas, é uma zona onde ocorrem o acúmulo e as movimentações estruturais.

Na análise por anomalia foi notória a distribuição com maior uniformidade de descolamento cerâmico. Este fato é justificado por esta anomalia possuir causas de diferentes origens associadas, torna-a uma anomalia que deve ser analisado com maior atenção. Além disso, segundo Pacheco e Vieira (2017) esta anomalia pode atuar em conjunto com outros mecanismos de degradação ou isoladamente.

4.3. MAPA PADRÃO DE DEGRADAÇÃO

Os mapas padrão de degradação para cada anomalia foram elaborados considerando as próprias anomalias, diferentes áreas da fachada e diferentes orientações. Tendo em conta que um edifício possui múltiplas fachadas que são expostas para diferentes projeções e recebem as ações dos agentes degradantes de forma diferenciada ao longo da fachada, a análise das

orientações são classificados em Norte, Sul, Leste e Oeste e a análise das diferentes áreas da fachada são classificadas em as áreas de base e áreas de topo.

Os mapas de probabilidade de degradação são expressos pela probabilidade de a fachada ser suscetível à anomalia e funcionam como ferramentas probabilísticas que ilustram, através da escala de cores, as zonas de maior intensidade de ocorrência. Desta forma, é possível utilizar os mapas de probabilidade na prevenção às anomalias por cada zona da fachada.

Os mapas de probabilidade são bidimensionais e baseados no modelo de fachada fictícia padrão. Estes mapas são confeccionados pelos resultados de probabilidade apresentados na Tabela 7. Os valores destacados em laranja foram os maiores valores registrados e em azul são os de menor valor de probabilidade.

Tabela 6 – Probabilidade de ocorrência das anomalias para cada zona.

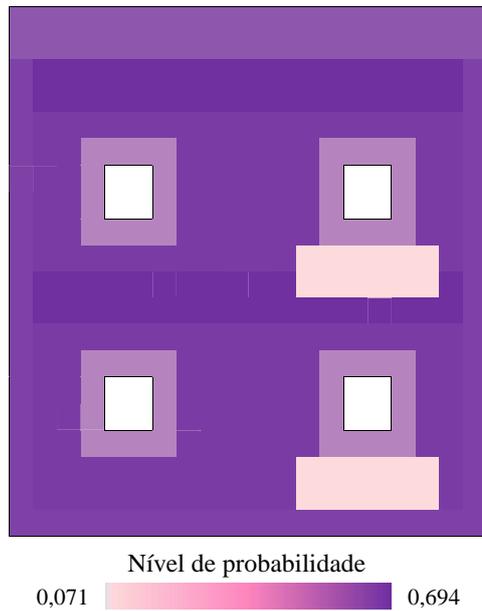
Zonas da fachada	Descolamento	Fissura	Falha de rejunte	Eflorescência
Paredes Contínuas	0,6536	0,1360	0,0433	0,0319
Aberturas	0,3900	0,0491	0,0584	0,0023
Sacadas	0,0706	0,0125	0,0077	0,0003
Cantos e Extremidades	0,6344	0,1565	0,0590	0,0233
Transição entre Pavimentos	0,6945	0,1824	0,0715	0,0243
Topo	0,5586	0,2318	0,0648	0,0080

4.3.1. Descolamento cerâmico

O mapa de probabilidade referente ao descolamento cerâmico (Figura 24a) ilustra que o menor valor obtido pelos resultados foi de 0,0706 pela zona sacadas e o maior de 0,6945 pela zona transição entre pavimentos.

Os mapas de sensibilidade expressam a sensibilidade de uma fachada a uma determinada anomalia, ou seja, quão sensível é a zona de fachada. Devido aos valores de sensibilidade à degradação obtidos não apresentarem a mesma ordem de grandeza, não foi possível manter a escala das curvas de níveis para todas as análises. Alguns resultados foram próximos e semelhantes entre zonas, impossibilitando a criação de intervalos justapostos ou crescentemente constantes. Ainda assim, a escala das curvas de níveis foi ajustada para serem apresentadas em pelo menos três curvas de nível. O mapa de sensibilidade referente ao descolamento cerâmico, representados por um plano topográfico, revela que o menor valor obtido é igual a 0,071 pela zona sacadas e o maior de 0,694 na zona de transição entre pavimentos, conforme ilustrado na Figura 24b.

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

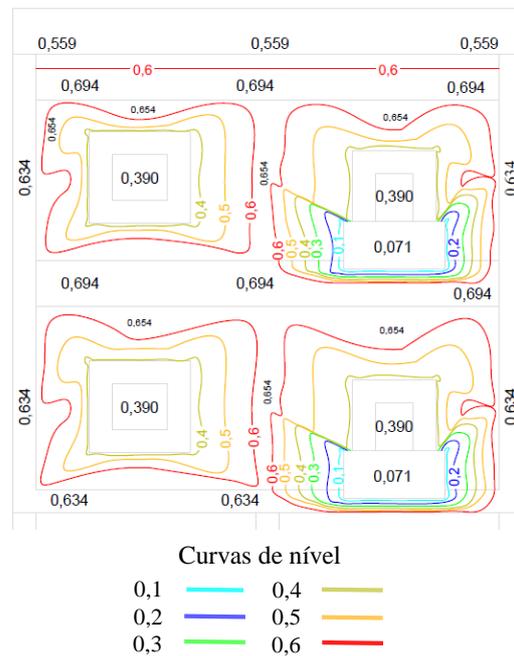


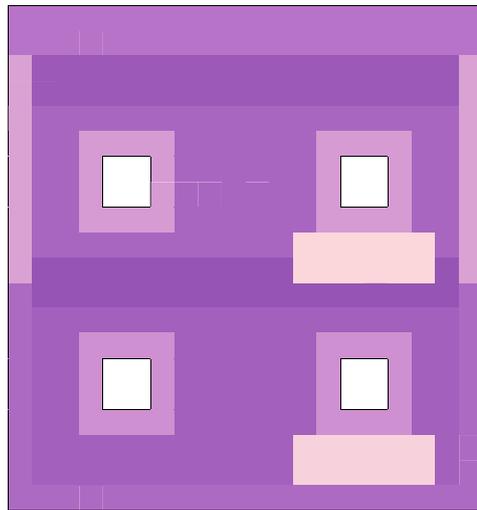
Figura 24 – Mapas de degradação para descolamento cerâmico.

Ainda sobre o descolamento cerâmico, o mapa de probabilidade e sensibilidade considerando as áreas de base (representado pelo pavimento inferior do modelo fictício de fachada padrão) e áreas de topo da fachada (representado pelo pavimento superior do modelo fictício de fachada padrão) está apresentado na Figura 25.

No mapa de probabilidade (Figura 25a), o menor valor obtido é igual de 0,0616 para a zona sacadas, tanto para as áreas de base, quanto para as áreas de topo. O maior valor equivale a 0,6945 para zona Transição entre Pavimentos em ambas alturas da fachada.

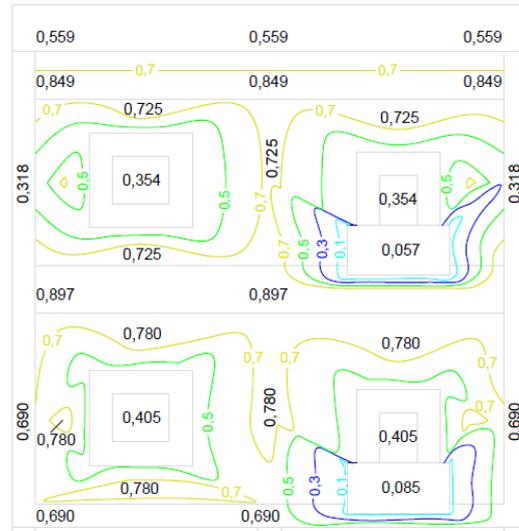
O mapa de sensibilidade referente ao descolamento cerâmico para áreas de base e topo (Figura 25b) mostra que as sacadas são menos sensíveis ao descolamento do que as demais zonas. Entretanto há uma diferença desta sensibilidade nas áreas de base e de topo. Nota-se que as sacadas em pavimentos mais altos (0,062) são menos vulneráveis ao descolamento cerâmico do que nas sacadas em pavimentos mais baixos (0,087). Já a zona mais sensível ao descolamento, independente da altura, é a Transição de Pavimentos (0,70).

(a) Mapa de probabilidade



Nível de probabilidade
0,0566 0,8974

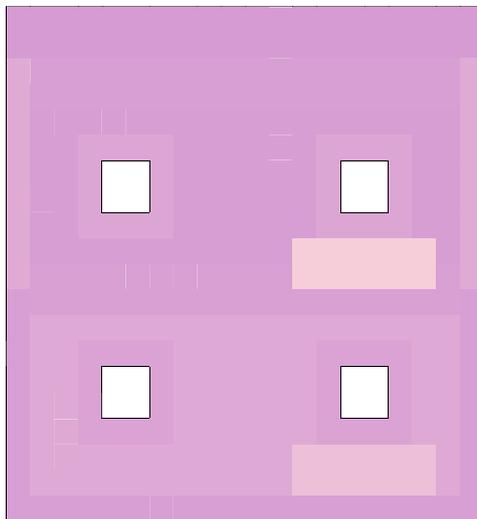
(b) Mapa de sensibilidade



Curvas de nível
0,1 0,7
0,3 0,9
0,5 1,1

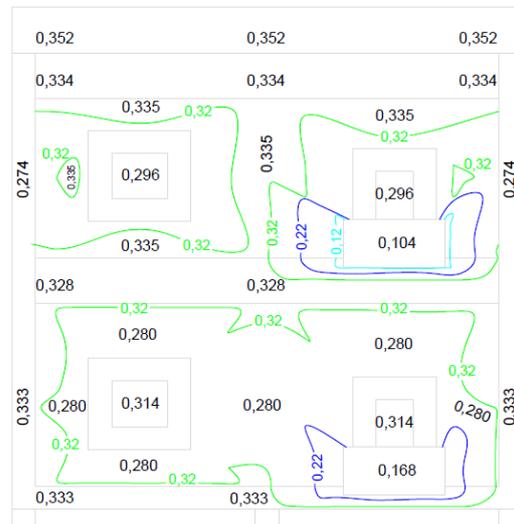
Figura 27 – Mapas de degradação para descolamento na orientação Sul.

(a) Mapa de probabilidade



Nível de probabilidade
0,1038 0,3523

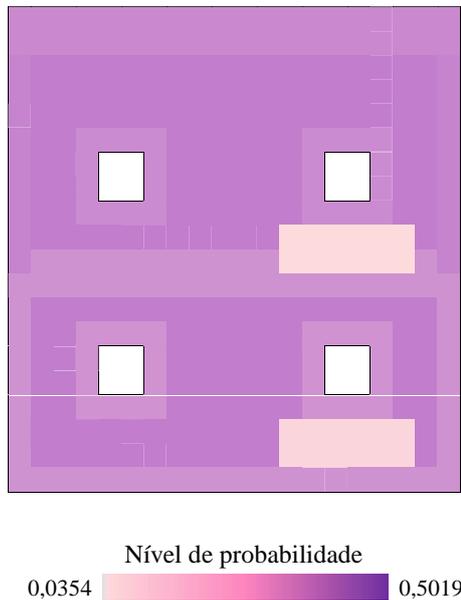
(b) Mapa de sensibilidade



Curvas de nível
0,12 0,42
0,22 0,52
0,32 0,62

Figura 28 – Mapas de degradação para descolamento na orientação Leste.

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

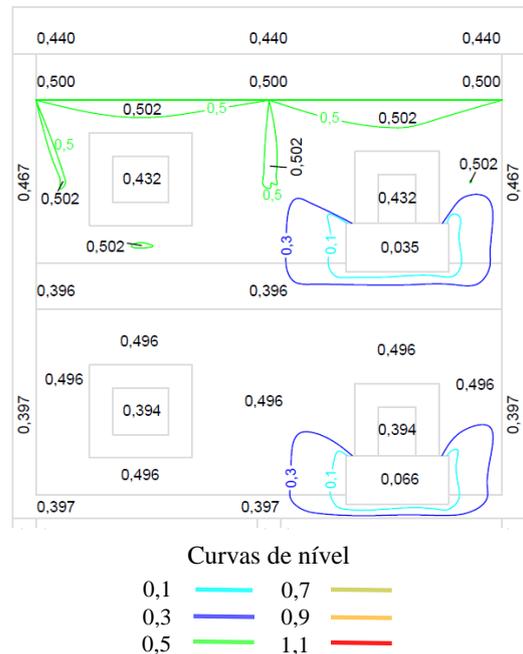


Figura 29 – Mapas de degradação para descolamento na orientação Oeste.

O mapa de probabilidade apresenta a zona de sacadas com menor valor, independente da orientação, sendo equivalente a 0,0420 para Norte, 0,0566 para Sul, 0,1038 para Leste e 0,0354 para Oeste. Os maiores valores de probabilidade para a orientação Norte (1,2418) e Sul (0,8974) refere-se a zona de transição entre pavimentos. Na orientação Leste a zona de destaque refere ao topo (0,3523) e na orientação Oeste é a zona de paredes contínuas (0,5019).

No mapa de sensibilidade nota-se uma diferenciação dos valores para pavimentos mais altos e mais baixos. Entretanto, para ambas alturas, todas as orientações apresentaram as zonas de sacadas com a zona menos sensível. Já para os valores máximos, para ambas alturas na orientação Norte e Sul, a transição entre pavimentos é a zona mais sensíveis ao descolamento.

Na orientação Leste e Oeste para ambas alturas a zona mais sensível refere-se a zona de topo e paredes contínuas, respetivamente.

O descolamento cerâmico é a anomalia mais importante devido ao grau de severidade, pois esta anomalia condiciona o desempenho de todo o revestimento, com consequências sérias ao nível da proteção do edifício, podendo comprometer a segurança dos usuários.

Em uma análise geral do descolamento nos mapas de probabilidade e sensibilidade é verificado eminentemente que a transição entre pavimentos é a zona com maior probabilidade e sensibilidade ao descolamento cerâmico. Outra zona que merece destaque é paredes

contínuas, caracterizando-se também como uma das zonas mais sensíveis ao descolamento. Corroborando com Sahb (2005) e Silva et al. (2016), que descrevem sobre a incompatibilidade de comportamento existente entre alvenarias e estruturas de concreto armado sendo uma das causas principais de anomalias.

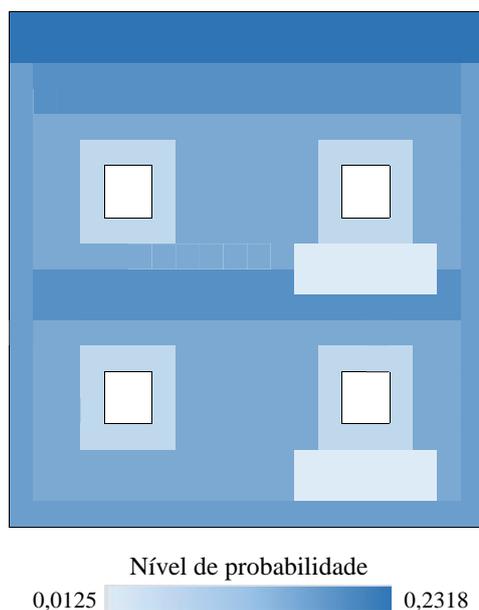
É importante ressaltar que as orientações Norte e Sul a diferenciação das zonas é mais evidente do que nas orientações Leste e Oeste. Nota-se que há um crescimento na degradação da fachada Leste que inicia em pavimentos superiores nas zonas de topo, paredes contínuas e transição entre pavimentos. Na Orientação Norte e Oeste, as áreas mais altas da fachada tendem a apresentar maior sensibilidade que as áreas mais baixas. Ao contrário das orientações Sul e Leste que tendem a ter maior sensibilidade nas áreas mais baixas do que nas mais altas. Este fato pode ser justificado pela maior incidência do intemperismo.

De forma geral, esta análise revela que o desprendimento tende a ocorrer nas regiões com maiores tensões acumuladas. De fato, as paredes contínuas concentram as cargas dos movimentos estruturais e a região de transição entre pavimentos tende a acumular as cargas da estrutura, advindas dos pilares, vigas e lajes para posterior distribuição na fundação do edifício. Consequentemente, a falta de juntas de movimentação e/ou dimensionamento inadequado da estrutura tende a ocasionar baixa resistência mecânica e ineficiência na absorção das deformações estruturais. Por outro lado, o desprendimento dos revestimentos cerâmicos está condicionado a erros de execução, como o assentamento das placas sobre superfície contaminada ou maltratada, espessura e rigidez inadequadas das argamassas de reboco e colante e ausência ou deterioração das juntas, que aceleram o processo de degradação dos revestimentos cerâmicos, como descrito por Feldfogel e Rabinovitch (2021).

4.3.2. Fissura

O mapa de probabilidade referente a fissura (Figura 30a) ilustra que o menor valor obtido pelos resultados foi de 0,0125 pela zona sacadas e o maior de 0,2318 pela zona topo. Os mapas de sensibilidade expressam a sensibilidade de uma fachada a uma determinada anomalia, ou seja, quão sensível é a zona de fachada. O mapa de sensibilidade à fissura apresenta a mesma tendência do mapa de probabilidade, em que as zonas de sacadas são menos sensíveis e a transição entre pavimentos são mais sensíveis (Figura 30b).

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

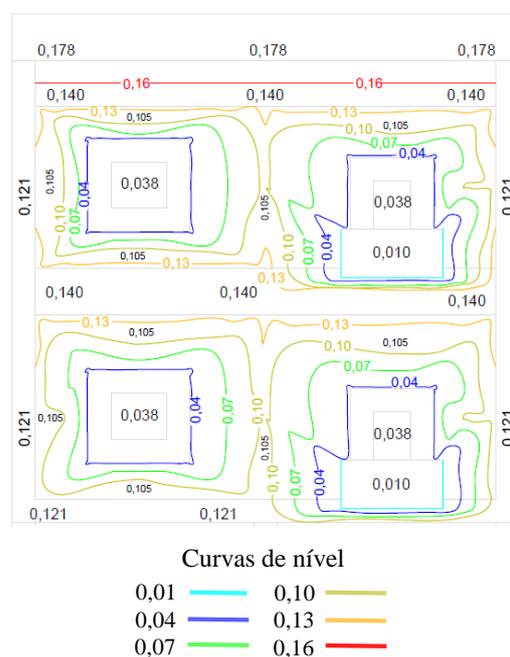


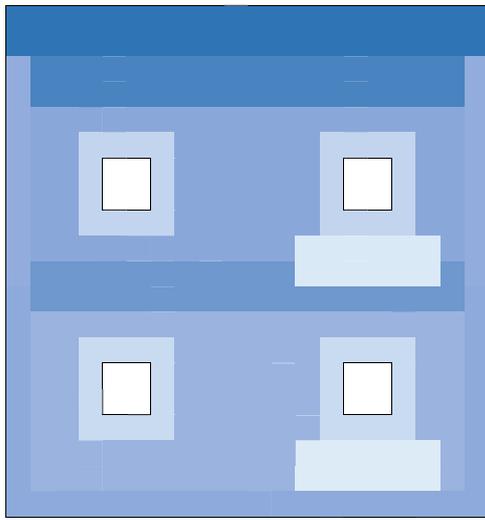
Figura 30 – Mapas de degradação para fissura.

No mapa de probabilidade referente a fissuração (Figura 31a) constata-se que o menor valor obtido é de 0,0125 pela zona sacadas nas áreas de base. Importa destacar que tanto para pavimentos baixos quanto para pavimentos altos essa zona apresentou o menor nível de incidência, entretanto com valores diferentes. O maior equivale a 0,2318 para zona Topo tanto nas áreas mais altas como nas áreas mais baixas.

O mapa de sensibilidade referente à fissuração (Figura 31b), considerando fachadas tanto em pavimentos altos quanto em pavimentos baixos, revela que o maior valor obtido é de 0,178 para a zona de topo. O menor valor ocorreu para a zona de sacada em pavimentos superiores (0,014) e inferior (0,006).

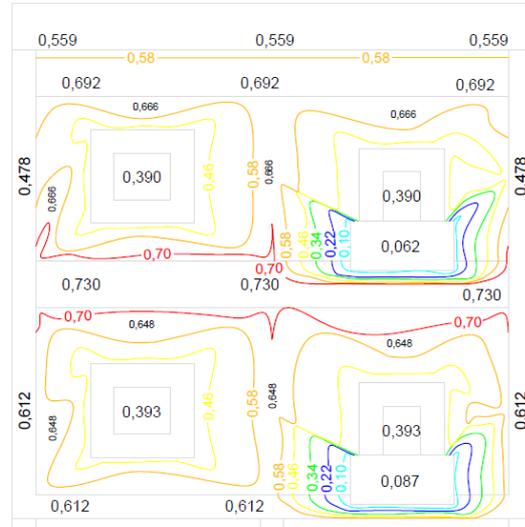
Os mapas de probabilidade e de sensibilidade referente a fissura para áreas de base e topo (Figura 31) mostra que as sacadas são menos sensíveis a fissura do que as demais zonas e o topo é a zona mais sensível, independente das áreas de base e de topo. Embora exista a tendência de alguma zona ser mais susceptível, as áreas de base são menos vulneráveis que as áreas de topo, exceto para cantos e extremidades que apresenta maior probabilidade nos pavimentos mais baixos.

(a) Mapa de probabilidade



Nível de probabilidade
0,0125 0,2318

(b) Mapa de sensibilidade

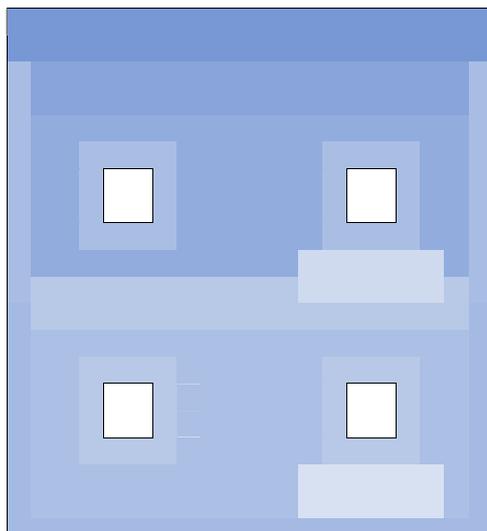


Curvas de nível
0,050 0,125
0,075 0,150
0,100 0,175

Figura 31 – Mapas de degradação para fissura nas áreas de base e topo.

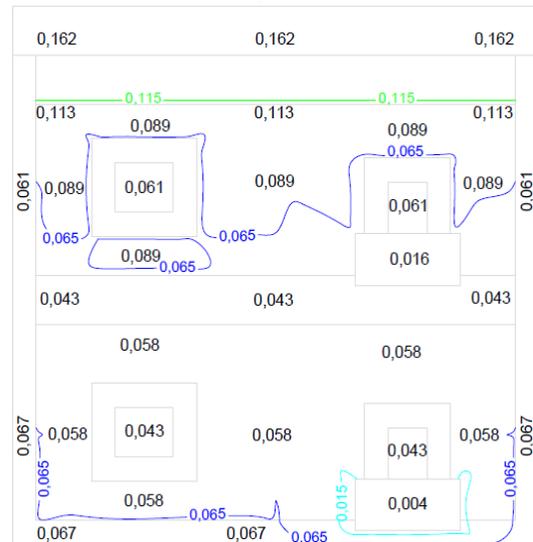
O mapa de probabilidade e sensibilidade para fissura foi confeccionado para a orientação Norte (Figura 32), Sul (Figura 33), Leste (Figura 34) e Oeste (Figura 35).

(a) Mapa de probabilidade



Nível de probabilidade
0,054 0,2109

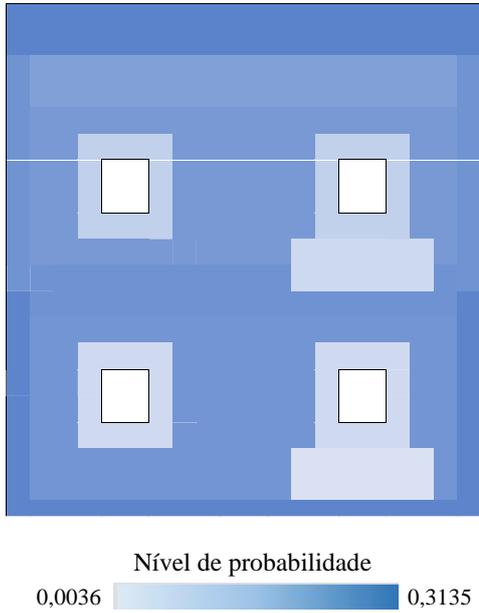
(b) Mapa de sensibilidade



Curvas de nível
0,015 0,165
0,065 0,215
0,115 0,265

Figura 32 – Mapas de degradação para fissura na orientação Norte.

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

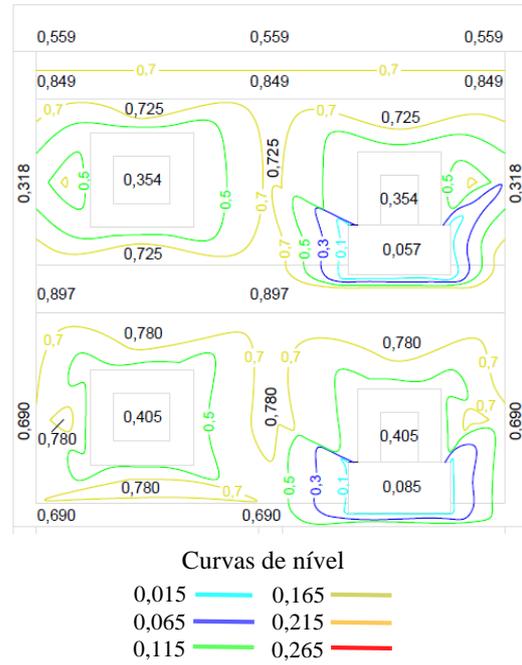
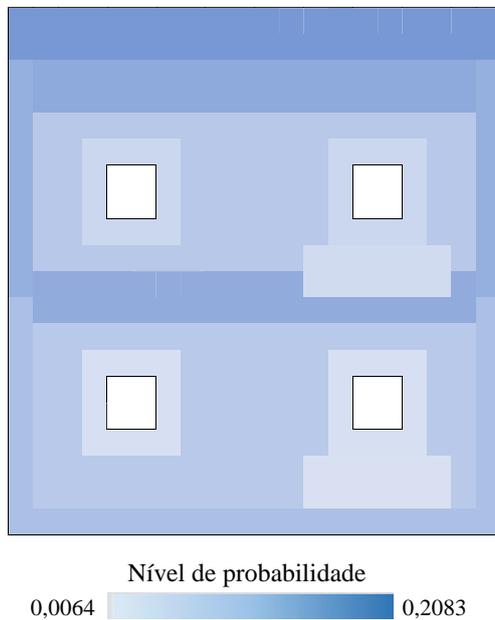


Figura 33 – Mapas de degradação para fissura na orientação Sul.

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

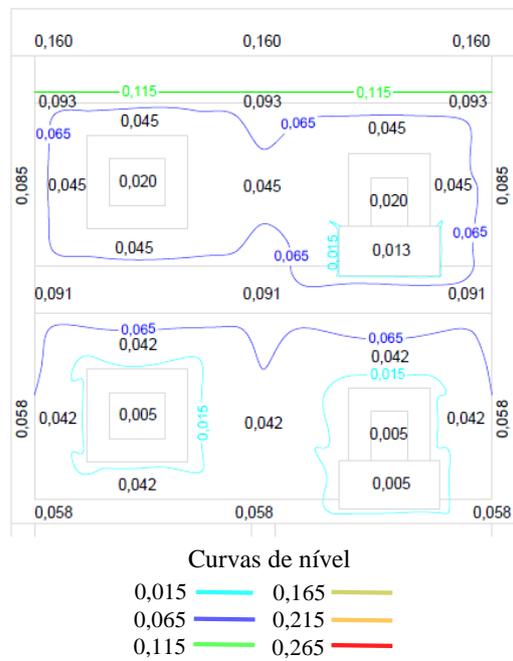
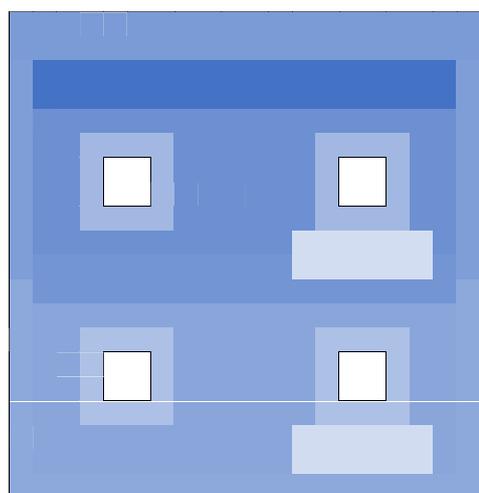


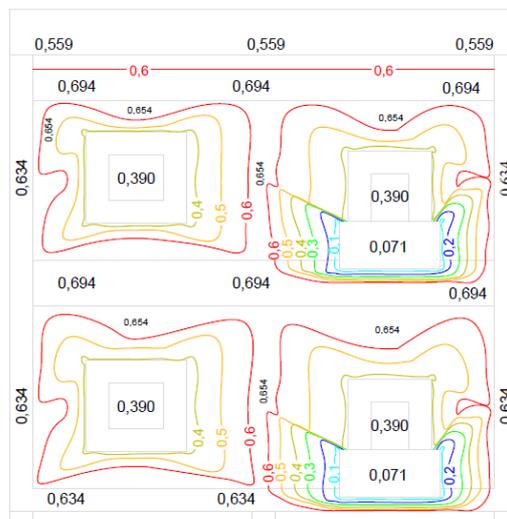
Figura 34 – Mapas de degradação para fissura na orientação Leste.

(a) Mapa de probabilidade



Nível de probabilidade
0,0137 0,3981

(b) Mapa de sensibilidade



Curvas de nível
0,165 0,215 0,265
0,015 0,065 0,115

Figura 35 – Mapas de degradação para fissura na orientação Oeste.

Para o mapa de probabilidade referente a fissuração apresenta para as quatro orientações a zona de sacadas com menores valores de probabilidade, sendo 0,0054 para Norte, 0,0036 para Sul, 0,0064 para Leste e 0,0137 para Oeste. Entretanto, quando se considera os maiores índices é observado para as orientações Norte, Sul e Leste os valores de 0,2109, 0,3135 e 0,2083, respectivamente para zona topo. Na orientação Oeste, o maior valor é observado de 0,3981 refere-se a zona de transição entre pavimentos.

Para o mapa de sensibilidade referente à fissuração, destaca-se as orientações Norte e Sul (Figura 32b e Figura 33b), a zona de sacadas que apresentou o menor resultado quanto a sensibilidade com valores de 0,004 e 0,003, respectivamente. Já a zona com maior sensibilidade refere a zona de topo para ambos os casos, com valores de 0,162 (Norte) e 0,241 (Sul).

Ao observar as orientações Leste e Oeste, a zona de sacadas apresentou o menor valor para ambas, com valores de 0,005 e 0,011, respectivamente. Todavia houve uma diferenciação quanto as zonas com os níveis de maior sensibilidade, como demonstrado nas Figura 34b e Figura 35b. Para a orientação Leste a zona de topo destaca-se com o valor de 0,160. Já a orientação Oeste, a zona com maior sensibilidade foi transição entre pavimentos para andares mais altos (0,307) quanto para andares mais baixos (0,172).

A principal causa das fissuras é o movimento do substrato (alvenaria) que está sujeita a deformações graves sob a influência de fatores térmicos e mecânicos. As fissuras são muito comuns em fachadas e em locais de grandes mudanças dimensionais e tensões, por exemplo, em telhados e coberturas de edifícios. As fissuras causadas por movimento restritivo, expansão ou compressão de natureza diferente estão sempre associadas a áreas de degradação avançada ou tendem a promover a degradação da zona onde ocorrem (Bauer e Souza, 2022).

Embora a análise do nível de condição da anomalia aponta a zona de transição entre pavimentos como uma zona crítica ao surgimento de fissuras, ao analisar a probabilidade e sensibilidade à fissuração a zona de topo se mostra como zona de maior vulnerabilidade ao surgimento de fissuras. Este fato pode justificado por esta zona estar mais sujeita a movimentos diferenciais por expansão térmica, devido à alta incidência solar e à exposição à chuva, que promovem a ocorrência de fissuras, como apresentado por Wetzal *et al.* (2001) e Zurbruggen e Herwegh (2016).

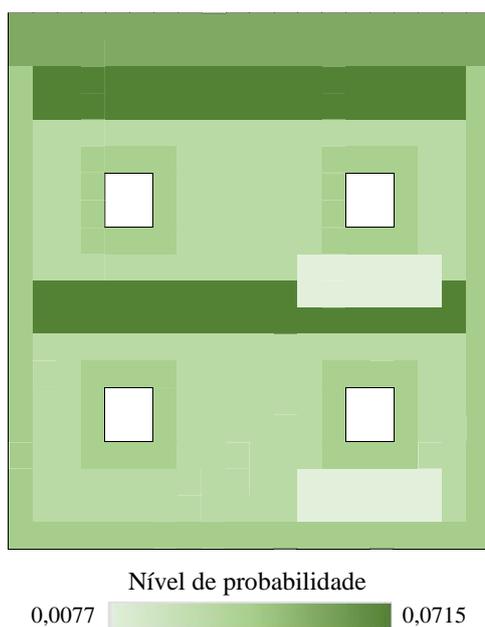
Além disso, as fissuras podem surgir devido à concentração de cargas nestas regiões (Gaspar e Brito, 2005). Pesquisadores como Yang *et al.* (2015), Souza *et al.* (2018) e Bauer e Souza (2022) sugerem que apesar da elevada incidência de fissuras na fachada, estas referem-se a anomalia que tende a estabilizar após a sua ocorrência, porém os movimentos de retração ou expansão de diversas naturezas tendem a ocorrer em regiões de maior concentração tensões, promovendo o aparecimento de outras anomalias.

Em relação às orientações, houve uma diferenciação quando a probabilidade e sensibilidade às fissuras. A orientação Sul revelou maior vulnerabilidade quanto a fissuração nas zonas de Topo. Já na orientação Oeste indica a zona de transição entre pavimentos com a zona mais vulneráveis ao surgimento de fissuras. Esta zona é caracterizada pelo recebimento de altas cargas estruturais e quando somadas as cargas de outros substratos, tendem a promover sucessivos movimentos de expansão e retração (Pereira *et. al*, 2019). Vale ressaltar que a fachada Oeste apresenta indícios de maior exposição ao intemperismo.

4.3.3. Falha de rejunte

O mapa de probabilidade referente a falha de rejunte (Figura 36a) ilustra que o menor valor obtido pelos resultados foi de 0,0077 pela zona sacadas e o maior de 0,0715 pela zona Transição entre Pavimentos. Representado por um plano topográfico, o mapa de sensibilidade referente falha de rejunte revela que o menor valor obtido é igual a 0,002 pela zona sacada e o maior de 0,020 na zona de transição entre pavimentos, conforme ilustrado na Figura 36b.

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

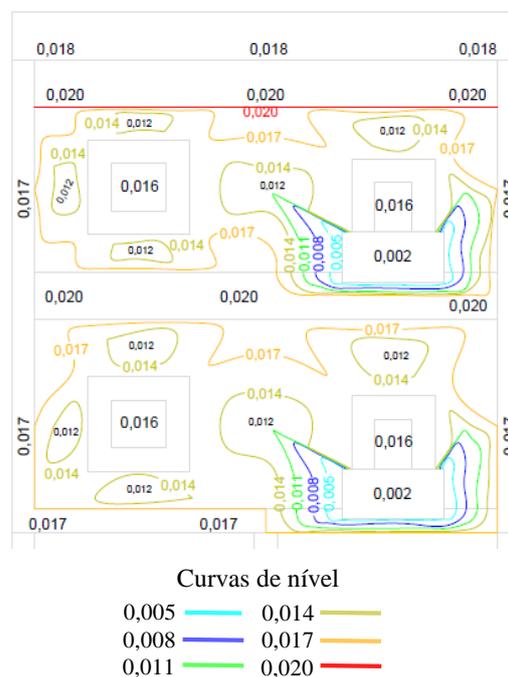


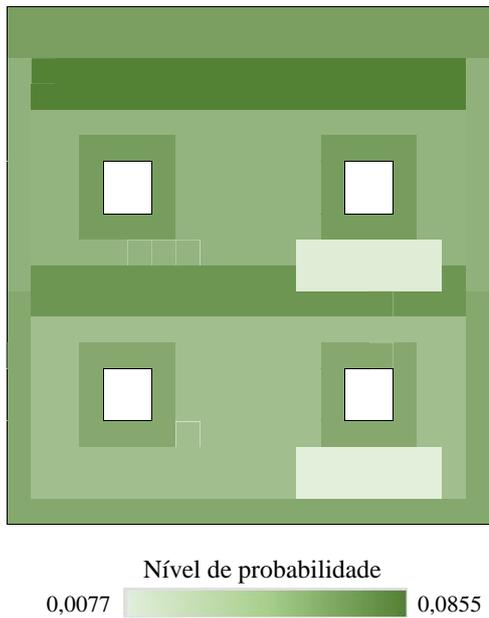
Figura 36 – Mapas de degradação para falha de rejunte.

Ainda sobre falha de rejunte, o mapa de probabilidade e sensibilidade considerando as áreas de base (representado pelo pavimento inferior do modelo fictício de fachada padrão) e áreas de topo da fachada (representado pelo pavimento superior do modelo fictício de fachada padrão) está apresentado na Figura 37.

No mapa de probabilidade (Figura 37a), o menor valor obtido é igual de 0,0077 para a zona sacadas, tanto para as áreas de base, quanto para as áreas de topo. O maior valor equivale a 0,0855 para zona Transição entre Pavimentos em áreas mais altas da fachada.

O mapa de sensibilidade referente a falha de rejunte para áreas de base e topo (Figura 37b) mostra que as sacadas são menos sensíveis a falha de rejunte do que as demais zonas. Entretanto há uma diferença desta sensibilidade nas áreas de base e de topo. Nota-se que as sacadas em pavimentos mais altos (0,003) são mais vulneráveis a falha de rejunte do que nas sacadas em pavimentos mais baixos (0,002). Já a zona mais sensível a esta anomalia, é a zona de topo (0,018) para áreas mais altas e a transição entre pavimento (0,024) para áreas mais baixas.

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

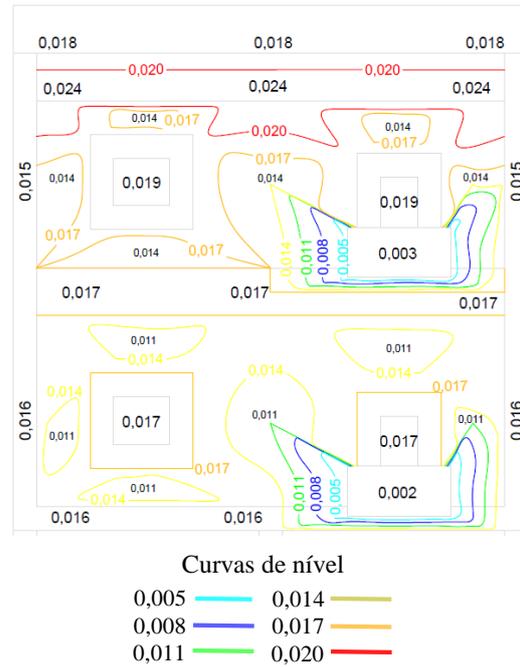
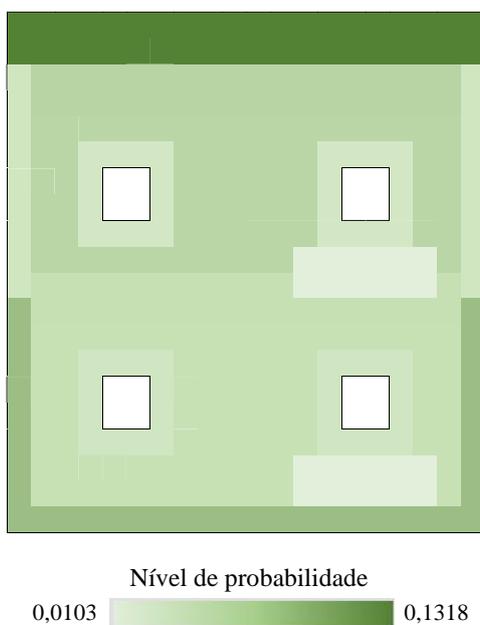


Figura 37 – Mapas de degradação para falha de rejunte nas áreas de base e topo.

O mapa de probabilidade e sensibilidade para falha de rejunte foi confeccionado para a orientação Norte (Figura 38), Sul (Figura 39), Leste (Figura 40) e Oeste (Figura 41).

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

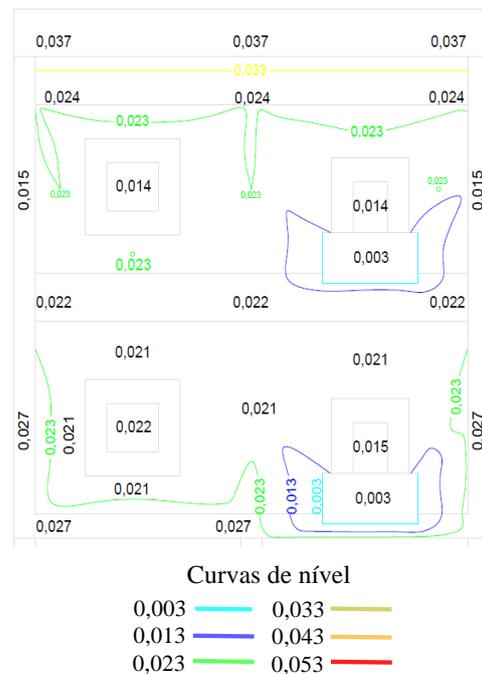
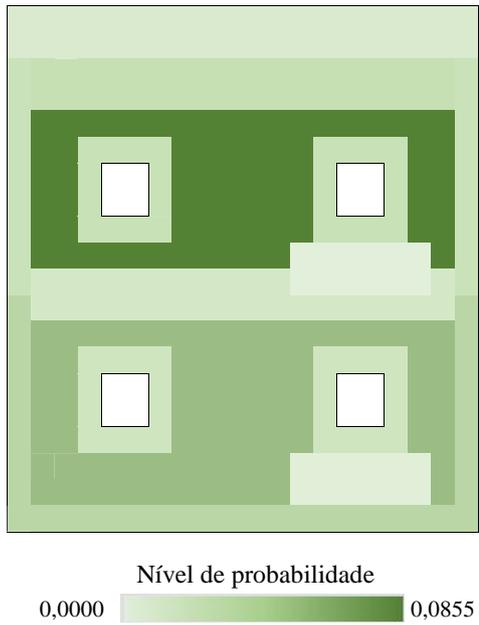


Figura 38 – Mapas de degradação para falha de rejunte na orientação Norte.

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

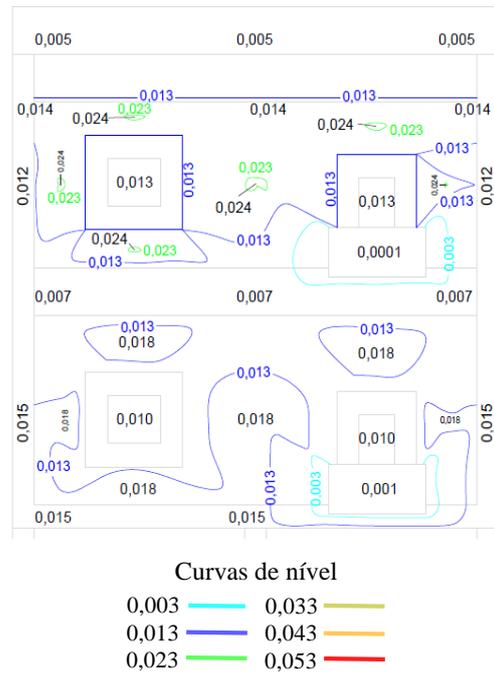
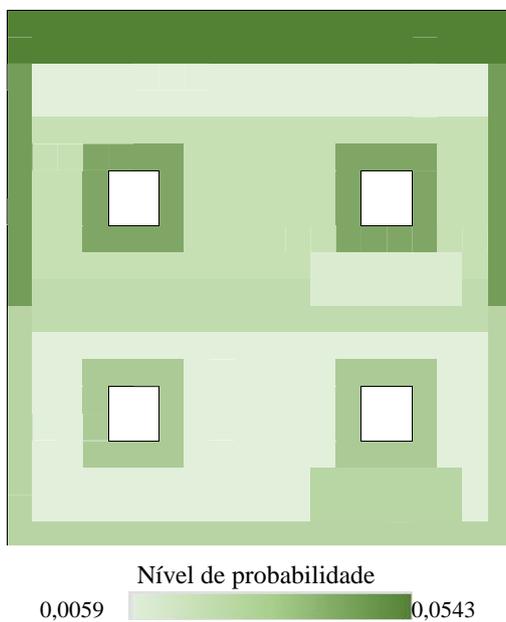


Figura 39 – Mapas de degradação para falha de rejunte na orientação Sul.

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

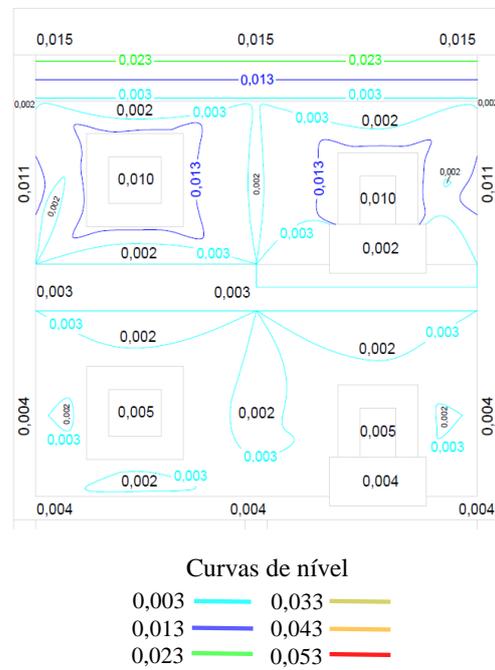
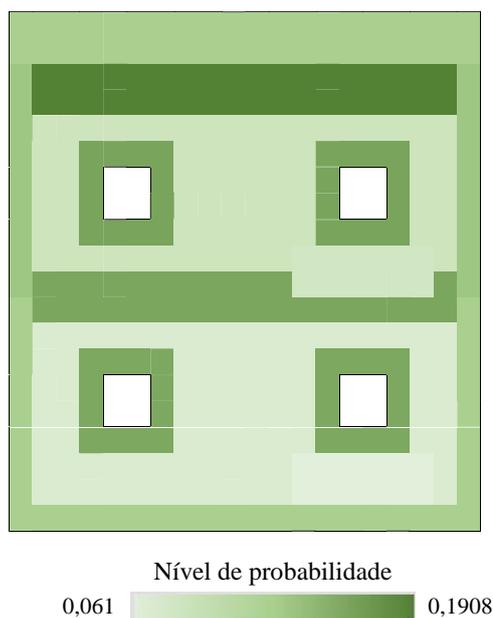


Figura 40 – Mapas de degradação para falha de rejunte na orientação Leste.

(a) Mapa de probabilidade



(b) Mapa de sensibilidade

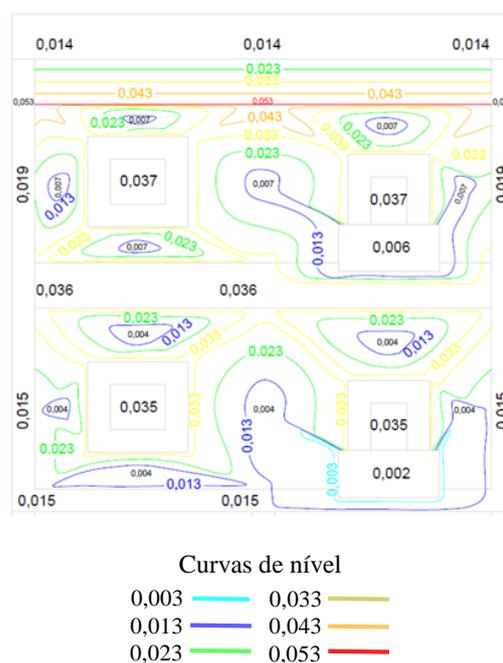


Figura 41 – Mapas de degradação para falha de rejunte na orientação Oeste.

Considerando as orientações nas áreas mais altas da fachada, a zona de sacada apresentou os menores índices de incidência para probabilidade para as orientações Norte (0,0103), Sul (0,0024) e Oeste (0,0061). A orientação Leste nas áreas mais altas indicou menor probabilidade na zona de paredes contínuas (0,0060). Já nas áreas mais baixas, a sacada apresentou menores valores de probabilidade para as orientações Norte (0,0120), Sul (~0,0000) e Oeste (0,0200) e a transição entre pavimentos para a orientação Leste (0,0059).

Considerando os valores de maior intensidade de probabilidade, pode ser observado que há uma tendência da zona para cada orientação quando considera as áreas mais altas e as áreas mais baixas. Desta forma, independente da altura dos pavimentos, na orientação Norte à zona de topo se mostrou com maiores valores de probabilidade, no Sul observou a zona de paredes contínuas, no Leste a zona de topo e no Oeste a transição entre pavimentos e abertura.

De forma semelhante à análise de probabilidade para falha de rejunte, o mapa de sensibilidade mostra que as sacadas são as zonas menos sensíveis para as orientações Norte (áreas mais baixas 0,0029 e áreas mais altas 0,0033), Sul (áreas mais baixas 0,0007 e áreas mais altas ~0,0000) e Oeste (áreas mais baixas 0,0017 e áreas mais altas 0,0056). A orientação Leste apresenta a zona de paredes contínuas (0,0017) para áreas mais baixas e a zona de transição entre pavimentos (0,0017) para as áreas mais altas. Quanto às zonas mais sensíveis, a mesma

tendência da probabilidade se repete na análise da sensibilidade. Independente da altura dos pavimentos, na orientação Norte à zona de topo se mostrou com maiores valores de probabilidade, no Sul observou a zona de paredes contínuas, no Leste a zona de topo e no Oeste a transição entre pavimentos e abertura.

A anomalia falha de rejunte é menos incidente nas zonas de sacadas, tornando esta zona uma zona menos susceptível ao surgimento desta anomalia. A justificativa plausível deste fato é que esta zona tem menor área, portanto menor quantidade de juntas. Entretanto é possível destacar transição entre pavimentos quanto as regiões mais sensíveis como também quando se referem à anomalia e diferentes alturas de pavimentos. Além disso, a abertura se torna uma zona mais sensíveis, pois estas são zonas onde em que há esquadrias, e por conseguinte, pontos de juntas.

Verificando as diferentes orientações, as fachadas Norte e Leste apresentam a região do topo como área mais sensível à falha de rejunte. Concebe-se então ao fato de existir maiores movimentações das fachadas para essas orientações, devido as variabilidades térmicas e higroscópicas. A fachada Oeste apresentou, novamente, transição entre pavimentos como destaque. A fachada Sul, inesperadamente, revelou paredes contínuas como zona provável de surgimento desta anomalia. A menor variação térmica e de umidade induziu a fachadas de orientação Sul proporcionar resultados numéricos de sensibilidade medianos ou próximos quando comparadas as zonas transição entre pavimentos e paredes contínuas.

Essa anomalia ocorre quando há lacunas de rejuntamento ou falta de manutenção das juntas, conferindo o fim da vida útil do insumo utilizado na fabricação. O rejuntamento entre as peças cerâmicas visa absorver as deformações e tornar o plano de uso cerâmico estanque. Com isso, no caso de falhas, pode haver o ingresso de umidade, que é uma das principais causas de anomalias em revestimentos de fachada (Pereira *et al.*, 2018; Souza, 2019).

O rejunte no revestimento cerâmico é um elemento importante no combate à fissuração e ao descolamento. Danos no reboco, tais como fissuras, saída de material e vazios, podem refletir condições críticas de tensão, que são precursores de falhas mecânicas mais graves, como por exemplo, o descolamento. Juntas de movimentação defeituosas (especialmente vedantes) são críticas, pois a água pode entrar na estrutura e causar falhas mecânicas (Bauer e Souza, 2022).

A Transição entre Pavimentos, o Topo e Cantos e Extremidades são zonas particularmente afetadas por movimentos diferenciais, cujas tensões concentradas são absorvidas pelas juntas de revestimento. Neste sentido, as principais razões para a prevalência

de falhas nas juntas são o dimensionamento inadequado das juntas (insuficiência ou com largura inadequada), a adoção de materiais de enchimento inadequados e a ausência de ações de manutenção regulares, conforme Yiu *et al.* (2007) e Silvestre e Brito (2011). A sensibilidade das áreas superiores está associada a elevada exposição a agentes atmosféricos, tal como a radiação solar, e a exposição à chuva dirigida, cujo efeito cumulativo ao longo do tempo tende a aumentar a ocorrência de defeitos na falha de rejunte (Wetzel, 2012; Herwegh *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2015).

4.3.4. Eflorescência

O mapa de probabilidade referente a eflorescência (Figura 42a) ilustra que o menor valor obtido pelos resultados foi de 0,0003 pela zona sacadas e o maior de 0,0319 pela zona paredes contínuas. Os mapas de sensibilidade expressam a sensibilidade de uma fachada a uma determinada anomalia, ou seja, quão sensível é a zona de fachada. O mapa de sensibilidade à eflorescência apresenta a mesma tendência do mapa de probabilidade, em que as zonas de sacadas são menos sensíveis e a paredes contínuas são mais sensíveis (Figura 30b).

(a) Mapa de probabilidade

(b) Mapa de sensibilidade

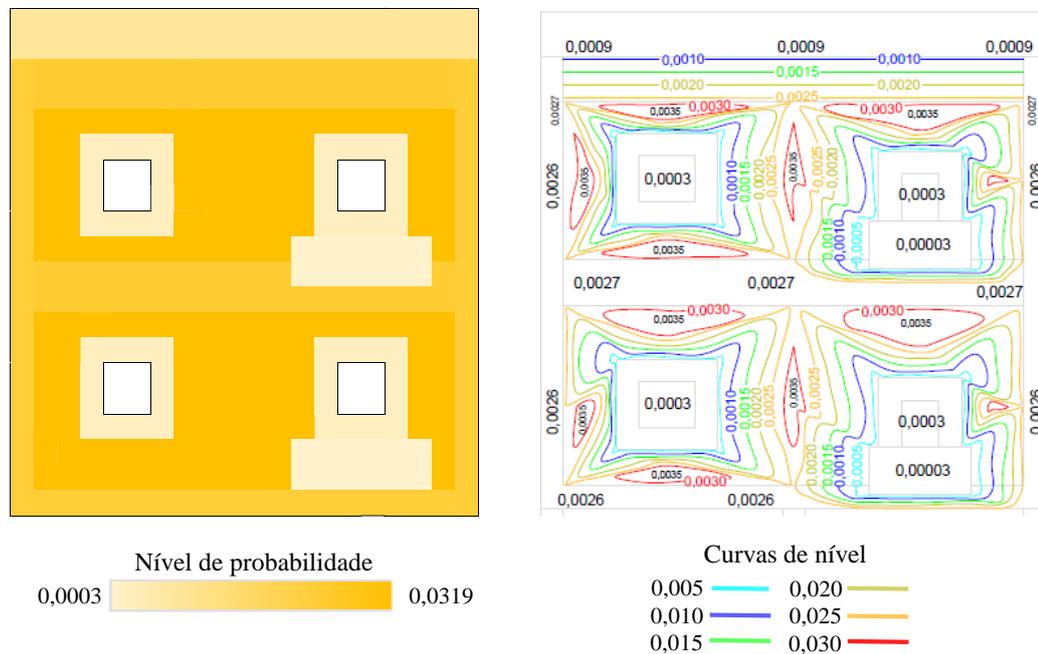


Figura 42 – Mapas de degradação para eflorescência.

O mapa de probabilidade e sensibilidade considerando as áreas de base (representado pelo pavimento inferior do modelo fictício de fachada padrão) e áreas de topo da fachada

(representado pelo pavimento superior do modelo fictício de fachada padrão) para anomalia de eflorescência está apresentado na Figura 43.

(a) Mapa de probabilidade

(b) Mapa de sensibilidade

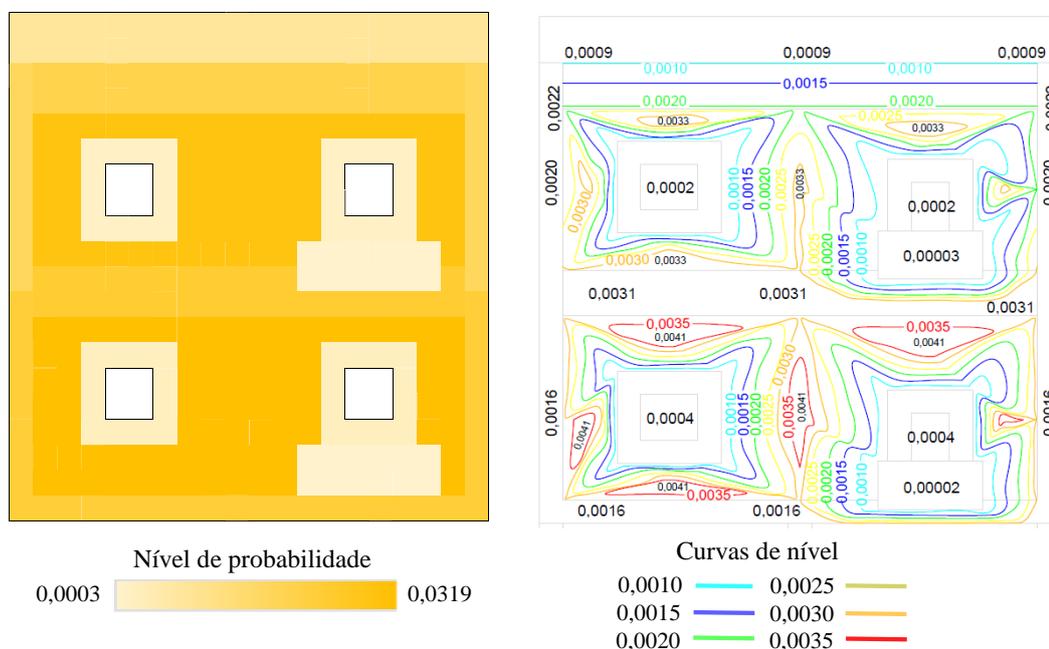


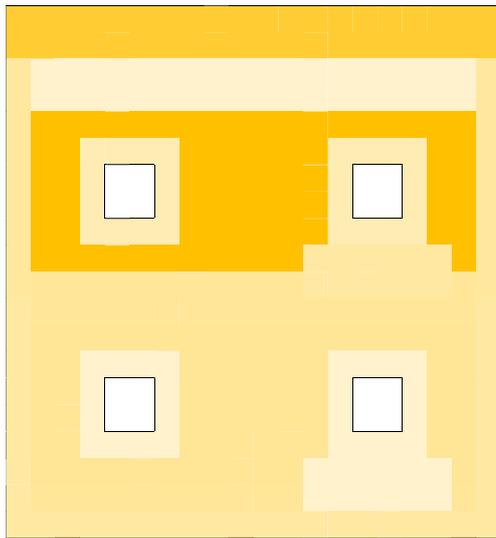
Figura 43 – Mapas de degradação para eflorescência nas áreas de base e topo.

No mapa de probabilidade (Figura 43a), o menor valor obtido é igual de 0,0003 para a zona sacadas e aberturas, tanto para as áreas de base, quanto para as áreas de topo. O maior valor equivale a 0,0319 para zona paredes contínuas em ambas alturas da fachada.

O mapa de sensibilidade referente a eflorescência para áreas de base e topo (Figura 43b) mostra que as sacadas são menos sensíveis a eflorescência do que as demais zonas. Não há uma grande diferença desta sensibilidade nos andares mais altos e mais baixos. Já os maiores valores de sensibilidade podem ser observados em paredes contínuas para ambas alturas dos pavimentos.

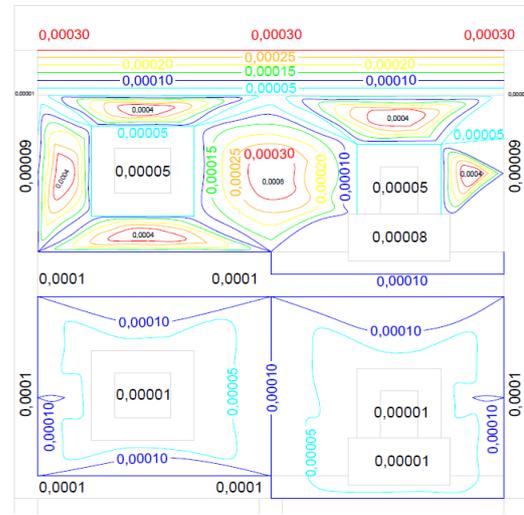
O mapa de probabilidade e sensibilidade para eflorescência foi confeccionado para a orientação Norte (Figura 44), Sul (Figura 45), Leste (Figura 46) e Oeste (Figura 47). Importa destacar que para essa anomalia houveram resultados atípicos devido a menor frequência de ocorrência no grupo amostral.

(a) Mapa de probabilidade



Nível de probabilidade
0,0000 0,0036

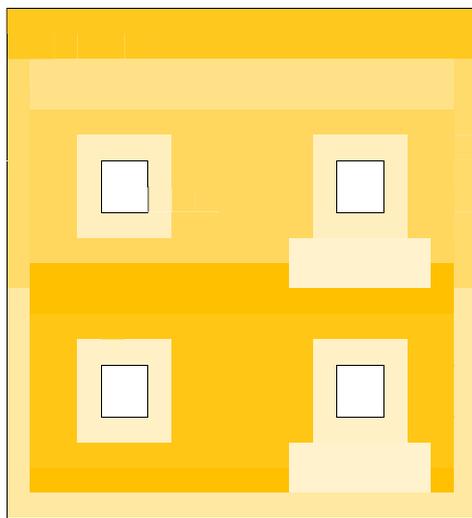
(b) Mapa de sensibilidade



Curvas de nível
0,00005 0,00020
0,00010 0,00025
0,00015 0,00030

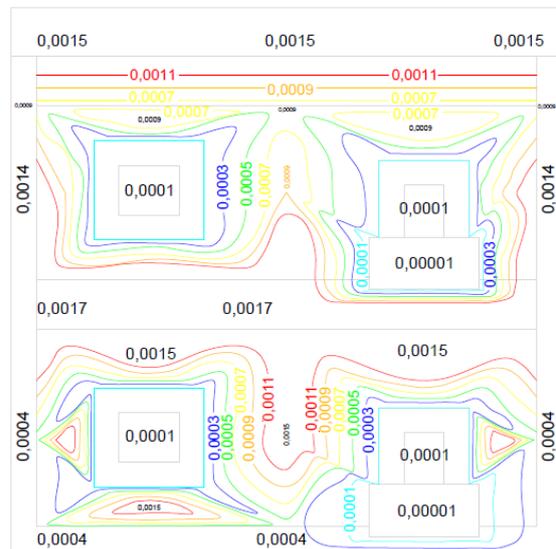
Figura 44 – Mapas de degradação para eflorescência na orientação Norte.

(a) Mapa de probabilidade



Nível de probabilidade
0,0000 0,0157

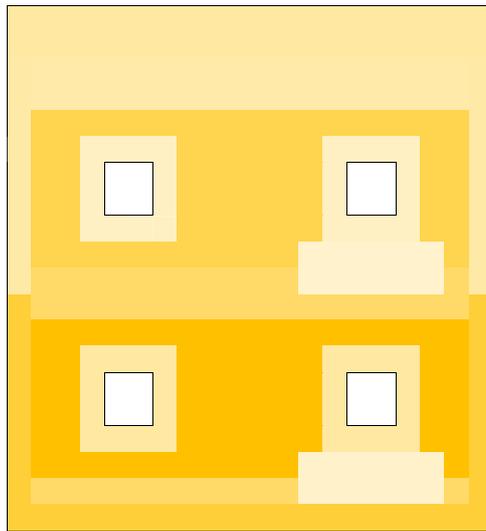
(b) Mapa de sensibilidade



Curvas de nível
0,0001 0,0007
0,0003 0,0009
0,0005 0,0011

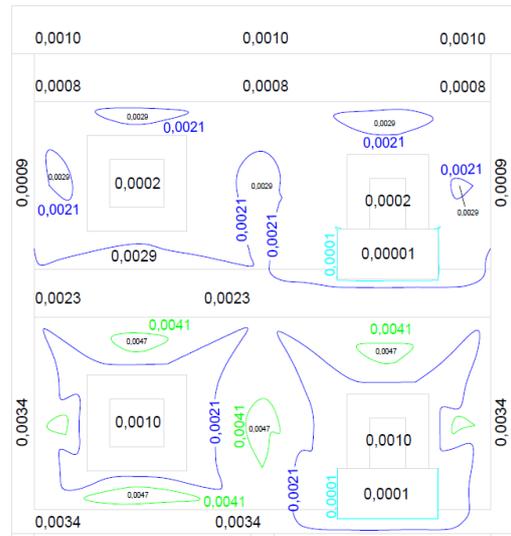
Figura 45 – Mapas de degradação para eflorescência na orientação Sul.

(a) Mapa de probabilidade



Nível de probabilidade
0,0000 0,0429

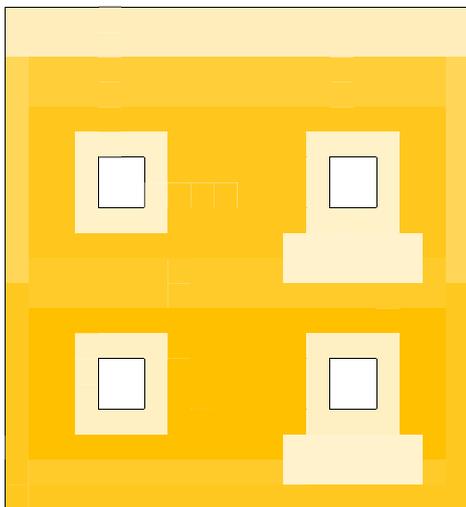
(b) Mapa de sensibilidade



Curvas de nível
0,0001 0,0061
0,0021 0,0081
0,0041 0,0101

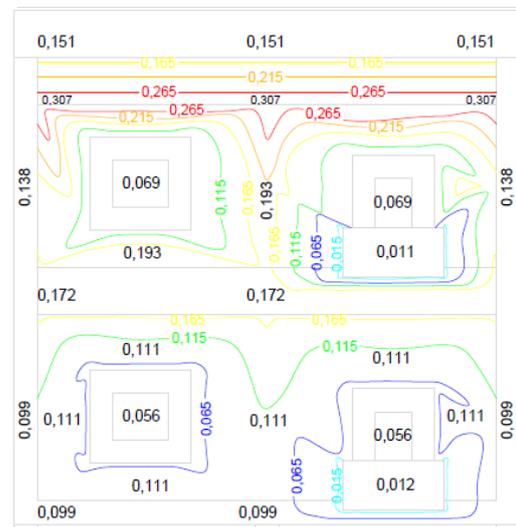
Figura 46 – Mapas de degradação para eflorescência na orientação Leste.

(a) Mapa de probabilidade



Nível de probabilidade
0,0001 0,0921

(b) Mapa de sensibilidade



Curvas de nível
0,0001 0,0061
0,0021 0,0081
0,0041 0,0101

Figura 47 – Mapas de degradação para eflorescência na orientação Oeste.

A eflorescência no mapa de probabilidade para orientação Norte (Figura 44a) apresentou nas zonas de aberturas, sacadas e transição entre pavimentos valores nulos. O mesmo ocorreu para a zona sacadas nas orientações Sul (Figura 45a) e Leste (Figura 46a). Já para a orientação Oeste (Figura 47a) as sacadas apresentaram valor igual a 0,0001.

Os maiores valores de probabilidade referem-se às zonas de paredes contínuas nas orientações Leste e Oeste, independente da altura do pavimento. Na orientação Norte os maiores valores de probabilidade referem-se a paredes contínuas e topo e na orientação Sul os valores mais altos de probabilidade são observados na transição entre pavimentos e topo.

O mapa de sensibilidade referente à eflorescência considerando as orientações revela resultados diversos, o que dificulta análise dos resultados e a convergência com a literatura. Os menores valores de sensibilidade à eflorescência, todas as orientações e independente da altura dos pavimentos ocorreram nas sacadas e nas aberturas, exceto para a orientação Norte nas áreas mais altas que ocorreu na zona de transição entre pavimentos.

Quanto aos maiores valores de sensibilidade à eflorescência, a orientação Leste e Oeste, tanto para áreas mais baixas quanto para áreas mais altas, apresentam as paredes contínuas como a zona de maior sensibilidade. A orientação Norte apresentou maior sensibilidade à eflorescência no Topo (0,0003) para áreas mais baixas e paredes contínuas (0,0004) para áreas mais altas. Na orientação Sul, a maior sensibilidade ocorreu na zona de transição entre pavimentos para áreas mais baixas (0,0017) e no topo para áreas mais altas (0,0015).

A eflorescência está relacionada com a entrada de umidade no sistema de revestimento. A formação de manchas pode ser também uma resposta à falta de elementos arquitetônicos para conduzir a percolação da água, promovendo o acúmulo de sais solúveis na composição dos materiais do sistema de revestimento. A origem está, em parte, relacionada com a porosidade inerente e com a natureza e distribuição dos sais existentes na massa cerâmica, permitindo a sua migração para a superfície (Ferreira e Bergmann, 2011).

Há uma prevalência de ocorrência de eflorescência na Transição entre Pavimentos, Cantos e Extremidades e Paredes Contínuas. Estas zonas que são mais propensas à eflorescência tendem a ser as que recebem maior intensidade de ações meteorológicas. Cantos e Extremidade e Paredes Contínuas são regiões expostas a ciclos de molhagem e secagem durante principalmente devido a ação da chuva dirigida, assim permitindo a presença de água no revestimento durante longos períodos de exposição. Estas zonas são também altamente propensas ao desprendimento, o que por sua vez pode promover a entrada de umidade no sistema de revestimento (Blocken *et al.*, 2010; Costa *et al.*, 2014 e Chwast *et al.*, 2015).

A análise da anomalia de eflorescência e da eflorescência em diferentes alturas de pavimentos, tanto para os mapas de probabilidade quanto para os de sensibilidade, revela maior sensibilidade para as zonas de paredes contínuas e transição entre pavimentos. Estas zonas podem tornar pontes térmicas influenciando as variações de absorção de umidade na parede, bem como a deposição de sujeira e sedimentos em sistemas de revestimento cerâmico (Edis *et al.*, 2014). A zona de paredes contínuas apresenta altos índices de sensibilidade, principalmente em pavimentos inferiores. Justifica-se esse resultado pela quantidade de dados mensurada em paredes contínuas.

Quanto à análise por orientação, para as fachadas Norte, Leste e Oeste, apresentam-se paredes contínuas como destaque para probabilidade e sensibilidade. Porventura, fachadas a Sul apresentaram transição entre pavimentos como região de maior probabilidade e sensibilidade. É importante realçar a zona de topo, as quais apresentaram resultados contundentes que explicitam a influência da mudança de orientação, bem como a funcionalidade dos elementos arquitetônicos para essa orientação.

4.3.5. Síntese dos resultados

De forma a sintetizar os resultados foram elaboradas a Tabela 7 referentes aos mapas de probabilidade e a Tabela 8 referentes aos mapas de sensibilidade. Nestas tabelas são identificados os valores críticos identificando as zonas e a altura dos pavimentos, sendo as áreas baixas para os pavimentos mais próximos da base do edifício e as áreas altas para pavimentos mais próximos do topo.

Tabela 7 – Resumo das zonas para os mapas de probabilidade.

Variável de análise	Descolamento Cerâmico		Fissura		Falha de Rejunte		Eflorescência		
Fachada geral	TP	SC	TO	SC	TP	SC	PC	SC	
Altura dos pavimentos	TP (baixa)	SC (alta)	TO (alta)	SC (baixa)	TO (alta)	SC (baixa)	PC (baixa)	SC (baixa)	
Orientação	Norte	TP (baixa)	SC (baixa)	TO (alta)	SC (baixa)	TO (alta)	SC (baixa)	TO (alta)	SC (baixa)
	Sul	TP (baixa)	SC (alta)	TO (alta)	SC (baixa)	PC (alta)	SC (alta)	TO (alta)	SC (baixa)
	Leste	TP (alta)	SC (alta)	TO (alta)	SC (baixa)	TO (alta)	TP (alta)	PC (baixa)	SC (alta)
	Oeste	PC (alta)	SC (alta)	TP (alta)	SC (alta)	TP (alta)	SC (baixa)	PC (baixa)	SC (baixa)

Legenda: (vermelho) mais provável (verde) menos provável

Tabela 8 – Resumo das zonas para os mapas de sensibilidade.

Variável de análise	Descolamento Cerâmico		Fissura		Falha de Rejunte		Eflorescência		
Fachada geral	TP	SC	TO	SC	TP	SC	PC	SC	
Altura dos pavimentos	TP (baixa)	SC (alta)	TO (alta)	SC (baixa)	TP (alta)	SC (baixa)	PC (baixa)	SC (baixa)	
Orientação	Norte	TP (baixa)	SC (baixa)	TO (alta)	SC (baixa)	TO (alta)	SC (baixa)	TO (alta)	SC (baixa)
	Sul	TP (baixa)	SC (alta)	TO (alta)	SC (baixa)	PC (alta)	SC (alta)	TO (alta)	SC (baixa)
	Leste	TO (alta)	SC (alta)	TO (alta)	SC (baixa)	TO (alta)	TP (alta)	PC (baixa)	SC (alta)
	Oeste	PC (alta)	SC (alta)	TP (alta)	SC (alta)	TP (alta)	SC (baixa)	PC (baixa)	SC (baixa)

Legenda: (vermelho) mais sensível (verde) menos sensível

A análise de menor incidência, para todas as circunstâncias estudadas, apresenta a sacadas como a zona menos provável ou sensível para todas as anomalias. Possivelmente isto ocorre devido a esta zona ter menor quantidade de área mensurada. Além disso, as sacadas são elementos que funcionam como seus próprios instrumentos de desvio e percolação de umidade, pois sobressaem à fachada. Finalmente, as condições arquitetônicas e a presença de peitoris, pingadeiras e vias de drenagem de água, podem também influenciar a ocorrência e o desenvolvimento de eflorescências e defeitos relacionados com a umidade nas diferentes regiões (Chwast *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2018; Castro *et al.*, 2023).

As zonas de transição entre pavimentos, topo e paredes contínuas foram salientadas como zonas mais sensíveis às anomalias. Paredes contínuas se apresenta como região principal ou secundária para todas as anomalias estudadas. Esta zona é propensa a uma maior ocorrência de danos devido à sua extensão superior em comparação com outras partes da fachada. Ao examinar a extensão das anomalias de maneira relativa e avaliar a probabilidade de ocorrência usando os mapas de probabilidade e sensibilidade, pode-se observar que a zona das paredes contínuas apresenta uma incidência significativamente maior de anomalias. Isso compromete diretamente o estado global de degradação dos revestimentos cerâmicos.

Através desta síntese também é perceptível que na altura dos pavimentos há uma mudança da zona preferível à anomalia. A mudança de orientação da fachada pode ter um impacto significativo na degradação causada por intempéries. A orientação da fachada em relação aos elementos climáticos, como vento, chuva e radiação solar, pode afetar diretamente a taxa de velocidade e o tipo de degradação que ocorre nos materiais de revestimento cerâmico e nas estruturas da construção (De Andrade *et al.*, 2023). Portanto, ao considerar a mudança de orientação da fachada em relação às intempéries, os projetistas e construtores devem avaliar cuidadosamente os impactos potenciais na degradação dos materiais e implementar estratégias de projeto e manutenção adequadas para minimizar esses efeitos negativos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa verifica que modelos gráficos podem ser utilizados para ilustrar e mapear os níveis de degradação das fachadas dos edifícios. Para confirmar esta hipótese, foi realizado um mapeamento da degradação dos edifícios em Brasília, Brasil, se fundamentando numa extensa base de dados sobre o estado das fachadas de 46 edifícios, totalizando mais de 81.000 m² de área de fachadas, para um total de 345 trechos de fachadas, aos quais estão revestidos com placas cerâmicas, previamente avaliada através de inspeções visuais.

Os dados recolhidos permitem modelar o padrão de degradação das fachadas com revestimentos cerâmicos, considerando as quatro principais anomalias observadas neste material (descolamento, fissura, falha de rejunte e eflorescência). Neste contexto, foram produzidos diferentes mapas de probabilidade e sensibilidade que ilustram a ocorrência dos defeitos mais comuns em seis zonas distintas da fachada. As zonas foram divididas em aberturas, cantos e extremidades, paredes contínuas, sacadas, topo e transição entre pavimentos. Vale a pena mencionar que o modelo padrão de fachada foi produzido por *software* CAD (*Computer Aided Design*). É, portanto, possível transformá-lo em um arquivo IFC (*Industry Foundation Classes*), que estabelece normas internacionais de propriedades para objetos na indústria da construção. Desta forma, é possível introduzir esta informação na fase inicial de contemplação do projeto, mesmo antes da construção, a fim de controlar os primeiros níveis de degradação e evitar os defeitos nos elementos de construção.

Para a mensuração da degradação utilizou-se do Fator Geral de Degradação (FGD), ao qual possui suma importância para quantificar e qualificar as anomalias, ponderando-as e hierarquizando-as, visando estabelecer o nível de condição de cada anomalia bem como o peso relativo entre elas. Através da base de dados foi possível desenhar o modelo de fachada fictícia padrão, para representar o sistema vigente da região de Brasília, situada no Distrito Federal. A simplicidade do modelo produzido foi importante melhorar a elucidação dos resultados.

De forma geral, concluiu-se que o descolamento é o tipo de defeito mais comum nos revestimentos cerâmicos aplicados em fachadas e o que apresenta as consequências mais graves. Este defeito ocorre frequentemente devido a uma resistência de aderência reduzida causada por ciclos intensos de aquecimento e arrefecimento. Uma execução incorreta e uma seleção inadequada dos materiais pode também promover o desprendimento dos revestimentos cerâmicos. Esta anomalia é considerada a mais grave entre as diferentes anomalias analisadas, uma vez que põe em risco a segurança dos proprietários e usuários. Além disso, esta anomalia

é difícil e dispendiosa de corrigir, exigindo por vezes a substituição completa do revestimento. Embora seja comum a ocorrência de outras anomalias nas fachadas, tais como eflorescência e falha de rejunte, estas ocorrem em proporções menos significativas, com menor influência no processo global de degradação da fachada.

A zona de paredes contínuas, superfícies da parede sem aberturas, apresenta a maior incidência de anomalias dada a maior extensão quando comparada com outras zonas da fachada. O mapa de sensibilidade permite avaliar a área afetada pelas anomalias correlacionando uns aos outros, avaliando a probabilidade de ocorrência destas nas diferentes zonas. Ao analisar a área afetada pelas anomalias de uma forma relativa, avaliando a probabilidade de ocorrência delas através do mapa de sensibilidade, a região de paredes contínuas apresenta uma maior incidência de anomalias, comprometendo assim o estado global de degradação dos revestimentos cerâmicos.

As zonas de transição entre pavimentos, topo do edifício e cantos e extremidades, são fortemente vulneráveis ao descolamento cerâmico, fissura e falha de rejunte. A elevada predominância destas anomalias nestas zonas pode ser explicada pela concentração de tensões causadas por movimentos diferenciais (por exemplo, interface entre a alvenaria e vigas estruturais em sistemas de construção rígidos). Significativamente, a amostra analisada pode revelar juntas mal concebidas, quer devido a dimensões inadequadas, quer por materiais de enchimento inadequados, que promovem o aparecimento de anomalias nessas regiões, devido à incapacidade de absorver as deformações sofridas pelo revestimento durante a vida útil. Quando comparadas com as outras zonas, as sacadas têm uma menor sensibilidade à presença de anomalias.

Os mapas trazem informações que podem ser utilizadas para melhores decisões de concepção e construção no início do ciclo de vida dos edifícios, ajudando a prevenir e mitigar a ocorrência de defeitos. Confirma-se de forma estatística e visual a evolução da degradação das anomalias, evidenciando o grau de severidade e destacando a zona que corresponde a maior probabilidade e sensibilidade de frequência de ocorrência, justificando as possíveis causas de acontecimentos das anomalias.

Desta forma, esta dissertação pode proporcionar contribuições significativas para a área de construção civil, otimizando práticas de projeto e manutenção de fachadas em uma perspectiva de construção sustentável e eficiente.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Desenvolver uma ferramenta abrangente e de fácil utilização para a confecção automatizada de mapas de degradação de fachadas com revestimento cerâmico.
- Envolver a integração de algoritmos de processamento de imagem e análise de dados para identificação precisa e eficiente das áreas degradadas.
- Criação de um *plugin* baseado em dados IFC para *softwares* de plataforma BIM, permitindo que os projetistas incorporem facilmente os mapas de degradação em seus fluxos de trabalho e tomem decisões informadas durante o processo de projeto.
- Aplicação desta metodologia a outros tipos de revestimentos, possibilitando uma comparação abrangente de diferentes materiais em termos de durabilidade e integridade ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Materials. **ASTM E 632** (1996): Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials. West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States.

Andrade, D. T. (2022). **Modelação da degradação de fachadas a partir de parâmetros obtidos da simulação higrotérmica para os edifícios de Brasília**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM11A/22, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 101 p.

Antunes, G. R. (2010). **Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília – Sistematização da incidência de casos**. Dissertação de mestrado. Brasília. Universidade de Brasília, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 13528** (2010): Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas - Determinação da resistência de aderência à tração. Rio de Janeiro, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 13749** (2013): Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação. Rio de Janeiro, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 13755** (2017): Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante: procedimento. Rio de Janeiro, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 15575-1** (2021): Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 15575-2** (2013): Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 5674** (2012): Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, Brasil.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 6023** (2018): Informação e

Documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, Brasil.

Azevedo, M. (2022). **Análise comparativa da manutenção de edifícios entre Portugal e Brasil**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, Portugal.

Barros, M. M. S. B.; Sannatini, F. H. (2001). **Produção de revestimento cerâmico para paredes de vedação em alvenaria**. São Paulo, Brasil.

Bauer, E.; Castro, E. K.; Antunes, G. R. (2010). Patologias mais correntes nas fachadas de edifícios em Brasília. 3º. **Congresso Português de Argamassas de Construção, APFAC**, Lisboa, Portugal.

Bauer, E.; Souza, A. L.R. (2022). Failure Patterns Associated with Facade Zones and Anomalies in the Initiation and Propagation of Degradation. **Construction and Building Materials**, v. 347, p. 128563.

Bauer, E.; Souza, J. S.; Mota, L. M. G. (2022). Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23-43, out./dez.

Bauer, E; Castro, E. K; Antunes, G. R. (2012). Processo de identificação das manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. **IX Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas**. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

Bauer, E; Castro, E. K; Silva, M. N. B. (2015). Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico: estudo de caso de edifícios de Brasília. **Cerâmica**, v. 61, p. 151-159.

Bauer, E; Castro; E. K.; Silva, M. N. B.; Zanoni, V. A. G. (2014). Evaluation of damage of building facades in Brasília. **International Conference on Durability of Building Materials and Components – DBMC**. São Paulo, Brasil. pp. 535-542.

Blocken, B.; Dezso, G.; van Beeck, J. P. A. J.; Carmaliet, J. (2010). Comparison of calculation models for wind-driven rain deposition on building facades. **Atmospheric environment**, v. 44, n. 14, p. 1714-1725.

Bordalo, R. (2008). **Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em**

fachada. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, Portugal.

Building Standards Institution. **BS 5385** part 2 (2020): Wall and floor tiling - Part 2: Design and installation of external ceramic, natural stone and mosaic wall tiling in normal conditions - Code of practice. Technical Committee ECB/5. BSI Standards London, United Kingdom.

Camara, G; Medeiros, J, S. (1998). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2a. Edição - Revisada e Ampliada. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

Castro, W.; Souza, J.; Gaspar, P.; Silva, A. (2023). Mapping the Risk of Occurrence of Defects in Façades with Ceramic Claddings. **Buildings**, v. 13, n. 5, p. 1209.

Chwast, J.; Todorovic, J.; Janssen, H.; Elsen J. (2015). Gypsum efflorescence on clay brick masonry: Field survey and literature study. **Construction and Building Materials**, v. 85, p. 57-64.

Clark, M. P.; Zolfaghari, R.; Green, K. R.; Trim, S.; Knobon, W. J.; Bennett, A.; Spiteri, R. J. (2021). The numerical implementation of land models: Problem formulation and laugh tests. **Journal of Hydrometeorology**, v. 22, n. 6, p. 1627-1648.

Costa, J.; Paulo, P. V.; Branco, F. A.; De Brito, J. (2014). Modeling evolution of stains caused by collection of dirt in old building facades. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 28, n. 2, p. 264-271.

Costa, M. S. (2014). **Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-007/14, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. 184p.

Costa, V. S.; Torres, A. S. (2021). Diagnosis of degradation state of the historic building facade through qualitative and quantitative indicators: case study of the Former School of Agronomy Eliseu Maciel. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**. v. 41, n. 4, p. 734-766.

Dahanayake, K. C.; Sumanarathna, N. (2022). IoT-BIM-based digital transformation in

facilities management: a conceptual model. **Journal of Facilities Management**, v. 20, n. 3, p. 437-451.

De Andrade, D. T.; Bauer, E.; Souza, J. (2023). Hygrothermal Simulation Applied to Degradation Modeling of Ceramic Facades. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 37, n. 1, p. 04022079.

De Campos Borges, A. (2013). **Topografia: aplicada à engenharia civil**. vol. 1. Editora Blucher.

Del Pozo, S.; Herrero-Pascual, J.; Felipe-García, B.; Hernández-López, D.; Rodríguez-Gonzálvez, P.; González-Aguilera, D. (2016). Multispectral radiometric analysis of façades to detect pathologies from active and passive remote sensing. **Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 80.

Edis, E.; Flores-Colen, I.; De Brito, J. (2014). Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. **Construction and Building Materials**, v. 51, p. 187-197.

Feldfogel, S.; Rabinovitch, O. (2021). Evolution and stability of tile detachment—Experiments and modeling. **International Journal of Solids and Structures**, v. 210, p. 145-161.

Felgueiras, C. A.; Goodchild, M. F. (1995). **Two Papers on Triangulated Surface Modeling**. Relatório Técnico 95-2 do National Center for Geographic Information and Analysis - NCGIA. University of California, Santa Barbara, CA, U.S.A.

Ferreira, C. C; Bergmann, C. P. (2011). Formação da eflorescência em cerâmica vermelha: fatores de influência no transporte dos íons SO_4^{2-} e Ca^{2+} . **Cerâmica**, v. 57, p. 356-363.

Ferreira, C. R. A. (2016). **Análise de fissuras e trincas nas alvenarias de vedação: construção de casas em Minas Gerais**. Especialização em Construção Civil. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Brasil.

Ferreira, C.; Neves, L. C.; Silva, A.; De Brito, J. (2020). Stochastic maintenance models for ceramic claddings. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 16, n. 2, p. 247-265.

Flores-Colen, I. (2009). **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção preditiva**. Tese de Doutorado em Construção,

Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Flores-Colen, I.; De Brito, J.; Freitas, V. (2010). Discussion of criteria for prioritization of predictive maintenance of building façades: Survey of 30 experts. **Journal of Performance of Constructed Facilities**. v. 24. n. 4. pp. 337-344.

Flores-Colen, I.; De Brito, J.; Freitas, V. P. (2004). Methodology for vertical envelope design, inspection and maintenance. **CIB Student Chapters International Symposium- Sustainability and Innovation in Construction and Real Estate**, Tsinghua University. Pequim, China. pp. 269-278.

Flores-Colen, I.; De Brito, J.; Freitas, V.; Hawreen, A. (2020). Reliability of in-situ diagnosis in external wall renders. **Construction and Building Materials**, v. 252, p. 119079.

Freitas, V. P.; Vieira, M.; Guimarães, A. S. (2013). The French, Norwegian and Danish experience. A State-of-the-Art Report on Building Pathology. **CIB Publication** 393. pp. 30-35.

Garrido, M. A.; Paulo, P. V.; Branco, F. A. (2012). Service life prediction of façade paint coatings in old buildings. **Construction and Building Materials**. v. 29. pp. 394-402.

Gaspar, P.; Brito, J. (2008). Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: A comparison between different degradation indicators. **Journal of Building and Environment**, v. 43, n. 11, p. 1818-1828.

Gaspar, P.; De Brito, J. (2005). Mapping defect sensitivity in external mortar renders. **Construction and Building Materials**, v. 19, n. 8, p. 571-578.

Gaspar, P.; Flores-Colen, I.; Brito, J. D. (2006). Técnicas de diagnóstico e classificação de fissuração em fachadas rebocadas. **Patologia e Reabilitação de Edifícios – PATORREB**. Lisboa, Portugal.

Gold, Christopher M. (2020). Surface interpolation, spatial adjacency and GIS. In: Three dimensional applications in geographical information systems. **CRC Press**, 2020. p. 21-35.

Goldberg, R. P. (1998). Direct adhered ceramic tile, stone and thin brick facades. **Technical Design Manual**. USA: Laticrete International. 200p.

Henrique, E. S. (2017). **Sensibilidade à degradação das fachadas: Estudo dos aspectos construtivos**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 19A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil, 102p.

Herwegh, M.; Zurbriggen, R.; Mettier, R.; Winnefeld, F.; Kaufmann, J.; Wetzel, A. (2015). Hygrical shrinkage stresses in tiling systems: Numerical modeling combined with field studies. **Cement and Concrete Composites**, v. 55, p. 1-10.

Ho, D. C. W.; Lo, S. M.; Yiu, C. Y.; Yau L. M. (2004). **A survey of materials used in external wall finishes in Hong Kong**. Hong Kong; vol. 15 Issue 2 December.

Ibrahim, P. O.; Sternberg, H.; Samaila-Ija, H. A.; Adgidzi, D.; Nwadiolor, I. J. (2022). Modelling topo-bathymetric surface using a triangulation irregular network (TIN) of Tunga Dam in Nigeria. **Applied Geomatics**, v. 15, n. 1, p. 281-293.

ISO, International Organization for Standardization **ISO 15686-1** (2011). Building and constructed assets – Service life planning – Part 1: General principles. Switzerland.

ISO, International Organization for Standardization **ISO 15686-7** (2017). Building and constructed assets – Service life planning – Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice. Switzerland.

Jernberg, P.; Lacasse, M. A.; Haagenrud, S. E.; Sjostrom, C. (2004) Guide and bibliography to service life and durability research for building materials and components. **CIB Report. International Council for Research and Innovation in Building and Construction**, Rotterdam, Netherlands.

Joffily, I. A. L.; Oliveira, A. L. A. (2013). A ocorrência de eflorescência em locais impermeabilizados com mata asfáltica. **13º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização**. Brasil.

Junginger, M.; Medeiros, J. S. (2002). Ação da eflorescência de carbonato de cálcio sobre o vidro de placas cerâmicas. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. v.9.

Kainz, W. (2020). Cartography and the others – aspects of a complicated relationship. **Geo-**

spatial Information Science, v. 23, n. 1, p. 52-60.

Knaack, U.; Klein, T.; Bilow, M.; Auer, T. (2014). **Façades: principles of construction**. Birkhäuser.

Luz, M. D. A. (2004). **Manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada em três estudos de caso na cidade de Balneário Camboriú**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

Madureira, S.; Flores-Colen, I.; De Brito, J.; Pereira, C. (2017). Maintenance planning of facades in current buildings. **Construction and Building Materials**. v. 147. pp. 790-802.

Menezes, P. M. L; Fernandes, M. C. (2013). **Roteiro de cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos.

Menezes, R. R; Ferreira, H. S; Neves, G.C; Ferreira, H.C. (2006). Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção - revisão. **Cerâmica**, v. 52, p. 37-49.

Mota, L. M. G. (2021). **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, Brasil. 179p.

Nascimento, M. L. M. (2016). **Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios**. Dissertação de mestrado em estruturas e construção civil, Publicação E.DM-018A/16, Departamento de engenharia civil e ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. 173p.

Pacheco, C. P.; Vieira, G. L. (2017). Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico. **Cerâmica**, v. 63, 432-445.

Pereira, C, J; De Brito, J; Silvestre, J. D. (2020). Harmonised classification of the causes of defects in a global inspection system: Proposed methodology and analysis of fieldwork data. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5564.

Pereira, C.; De Brito, J.; Silvestre, J. D. (2018). Contribution of humidity to the degradation of facade claddings in current buildings. **Engineering Failure Analysis**, v. 90, p. 103-115.

Pereira, C.; Silva, A.; De Brito, J.; Flores-Colen, I.; Silvestre, J. D. (2019). Contribution of cracking and spalling to the degradation of façade claddings in current buildings. In: **Proceedings of the CIB World Building Congress**, Hong Kong, China. p. 17-21.

Petersen, A.; Silva, A.; González, M. (2023). Service Life Prediction of Painted Renderings Using Maintenance Data through Regression Techniques. **Buildings**, v. 13, n. 3, p. 785.

Piazzarollo, C. B. (2019). Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 102 p.

Pinheiro, P. I. S. (2016). **Aplicação do Método de Mensuração da Degradação (MMD) ao estudo das fachadas de edifícios em Brasília.** Trabalho de conclusão de curso. Bacharelado em Engenharia Civil. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil. 186 p.

Robinson, A. M; Morrison, J. L; Muehrcke, P. C; Kimerling, A. J.; Guptill, S. C. (1995) **Elements of Cartography.** 6th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1995. 674 p.

Rudbeck, C. (1999). Assessing the service life of building envelope construction. **International conference on durability of building materials and components – DBMC.** Vancouver, Canada, 1999. pp. 1051-1061.

Ruggiero, G.; Marmo, R.; Nicoletta, M. (2021). A methodological approach for assessing the safety of historic buildings façades. **Sustainability** 2021, v. 13, n. 5, p. 2812.

Russo, M.; Carnevali, L.; Russo, V.; Savastano, D.; Taddia, Y. (2019). Modeling and deterioration mapping of façades in historical urban context by close-range ultra-lightweight UAVs photogrammetry. **International journal of architectural heritage**, v. 13, n. 4, p. 549-568.

Sá, A. (2005). **Durability of cement adhesives in facades.** Dissertação de mestrado, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Sabbatini, F. H.; Barros, M. M. S. B.; Dias, A. M. N. D.; Flain, E. P. (1990). **Recomendações para a produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria.** Projeto EP/EN-6 - Desenvolvimento de métodos construtivos de revestimentos de piso. Convênio Escola Politécnica da USP e ENCOL São Paulo, PCC/EPUSP, 1990. (Relatório

Técnico R6-06/90, Convênio EPUSP/ ENCOL; CPqDCC-EPUSP).

Sahb, C. A. S. (2005). **Contribuição ao estudo da interface estrutura-alvenaria externa em edifícios verticais**. Dissertação de mestrado, Universidade federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Goiânia, Brasil.

Santos, D. G. (2018). **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, 136 p.

Santos, M. J. B. O. (2017). **Catálogo de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília**. dissertação de mestrado em estruturas e construção civil, Publicação E.DM011A/17, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 212p.

Shohet, I. M.; Puterman, M.; Gilboa, E. (2002). Deterioration patterns of building cladding components for maintenance management. **Construction Management & Economics**, v. 20, n. 4, p. 305-314.

Silva, A. F. F. (2015). **Modelação estatística da previsão de vida útil dos revestimentos de fachadas**. Tese de doutoramento. Universidade de Lisboa. Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal.

Silva, A.; De Brito, J.; Gaspar, P. L. (2016). **Methodologies for service life prediction of buildings: with a focus on façade claddings**. Springer.

Silva, M. N. B. (2014). **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – Aplicação ao caso de Brasília/DF**. Tese de doutorado. Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.

Silvestre, J. (2005). **Sistema de Apoio à Inspeção e Diagnóstico de Anomalias em Revestimentos Cerâmicos Aderentes**. Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Silvestre, J. D.; De Brito, J. (2007). Statistical analysis of defects of tiles joints. **Materiales de Construcción**, v. 57, n. 285, p. 85-92, 2007.

Silvestre, J. D.; De Brito, J. (2010). Inspection and repair of ceramic tiling within a Building management system. **Journal of Materials in Civil Engineering**. v. 22, n. 1, pp. 39-48.

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

Sousa, H.; Sousa, R.; Silva, F. M.; Sousa, F. (2016). **Fachada de edifícios**, Lisboa: Editora Lidel.

Souza, J. S. (2016). **Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 114 p.

Souza, J. S. (2019). **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. Tese de doutorado em estruturas e construção civil, Publicação E.DT-15A/19, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil. 139 p.

Souza, J. S.; Bauer, E.; Nascimento, M. L. M.; Capuzzo, V. M. S.; Zanoni, V. A. G. (2016). Study of damage distribution and intensity in regions of the facade. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**. v. 1, n. 1, pp. 1-9.

Souza, J. S.; Nascimento, M.; Bauer, E. (2015). Estudo da quantificação da degradação de fachadas de edifícios por meio do mapeamento de anomalias. **Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Restauração de Edifícios – CIRMARE**, Rio de Janeiro, Brasil.

Souza, J. S.; Piazzarollo, C. B.; Bauer, E. (2019). Aplicação do método de mensuração de degradação em revestimentos de fachadas. In: **Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos**. p. 1-6.

Souza, J.; Silva, A.; De Brito, J.; Bauer, E. (2018). Application of a graphical method to predict the service life of adhesive ceramic external wall claddings in the city of Brasília, Brazil. **Journal of Building Engineering** v. 19, p. 1-13.

Souza, J.; Silva, A.; De Brito, J.; Dias, J. L.; Bauer, E. (2020). Evaluation of the deterioration of ceramic claddings by application of artificial neural networks. **Journal of Performance of**

Constructed Facilities, v. 34, n. 5, p. 04020084.

Tan, A. Z. T.; Zaman, A.; Sutrisna, M. (2018). Enabling an Effective Knowledge and Information Flow Between the Phase of Building. **Construction and Facilities Management**. v. 36, n. 3/4, p. 151-170.

Tan, Qulin; Xu, Xiao. (2014). Comparative analysis of spatial interpolation methods: an experimental study. **Sensors & Transducers**, v. 165, n. 2, p. 155.

Torres-González, M.; Valença, J.; Santos, B. O.; Silva, A.; Mendes, M. P. (2023). StainView: A Fast and Reliable Method for Mapping Stains in Facades Using Image Classification in HSV and CIELab Colour Space. **Remote Sensing**, v. 15, n. 11, p. 2895.

Verdum, G.; Bersch, J. D. (2021). Mortar coating degradation in historical buildings facades from Rio Grande do Sul – Brazil. **Construction and Building Materials**. v. 310.

Westberg, K.; Norén, J.; Kus, H. (2001). On using available environmental data in service life estimations. **Building Research & Information**, v. 29, n. 6, p. 428-439.

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

Yiu, C. Y.; Ho, D. C. W.; Lo, S. M. (2007). Weathering effects on external wall tiling systems. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 3, p. 594-600.

Zanoni, V.A.G. (2015). **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese de doutorado em arquitetura e urbanismo. programa de pós-graduação da faculdade de arquitetura e urbanismo da Universidade de Brasília, DF, Brasil. 293 p.

Zurbriggen, R.; Herwegh, Marco. (2016). Daily and seasonal thermal stresses in tilings: A field survey combined with numeric modeling. **Materials and Structures**, v. 49, p. 1917-1933.