



ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS NOS DIFERENTES ANDARES DOS EDIFÍCIOS

Tema: Desempenho de sistema de revestimento.

Grupo¹: 1

MAYKON V.SILVA¹, ELTON BAUER², MELISSA L.F.LOPES³, THÁLIA R.L.M.ROMEIRO⁴, ANA LUIZA R.SOUZA⁵,

¹ Mestrando, PECC – Universidade de Brasília/UnB, eng.maykonsilva@gmail.com

² Profº. Drº, PECC – Universidade de Brasília/UnB, elbauerlem@gmail.com

³ Mestranda, PECC – Universidade de Brasília/UnB, melissafracao8@gmail.com

⁴ Mestranda, PECC – Universidade de Brasília/UnB, thaliajan@hotmail.com

⁵ Doutoranda, PECC – Universidade de Brasília/UnB, luiza31souza@gmail.com

RESUMO

A incidência de agentes de degradação sobre os edifícios é responsável pelo processo de degradação. O objetivo deste estudo é investigar a distribuição da degradação de fachadas nos diferentes andares de edifícios compostos por sistema de revestimento cerâmico aderido. O estudo é aplicado para 5 edifícios de Brasília selecionados de uma base de dados, utilizando o método MMD para a quantificação da ocorrência da degradação. As análises são baseadas em indicadores de degradação, calculados a partir das variáveis investigadas, como a orientação e posição na fachada (especificamente os andares das amostras). O Topo do edifício é o pavimento que apresenta maior degradação.

Palavras-chave: Degradação, fachada, andar, patologia, mensuração da degradação

STUDY OF THE DISTRIBUTION OF FACADE DEGRADATION ON THE DIFFERENT FLOORS OF THE BUILDINGS

ABSTRACT

The incidence of degradation agents on buildings is responsible for the degradation process. The aim of this study is to investigate the distribution of facade degradation on different floors of buildings composed of adhered ceramic coating systems. The study is applied to 5 buildings in Brasilia selected from a database, using the MMD method to quantify the occurrence of degradation. The analyzes are based on degradation indicators, calculated from the investigated variables, such as orientation and position on the facade (specifically the floors of the samples). The top of the building is the floor that shows the greatest degradation.

Keywords: Degradation, facade, floor, pathology, measurement of degradation.

¹ **Grupo 1:** Oriundos de teses, dissertações e relatórios finais de projetos de pesquisa; ou **Grupo 2:** oriundos de disciplinas de pós graduação, iniciação científica, trabalhos de conclusão de curso (TCC), pesquisas aplicadas e outros.

1. INTRODUÇÃO

Edifícios são sistemas complexos compostos por vários elementos relacionados, coordenados e integrados. A fachada faz parte da envoltória do edifício e juntamente à cobertura é responsável pela separação do interior do edifício do meio exterior. Dessa forma, elas exercem papel de extrema importância para a edificação no que diz respeito ao desempenho e durabilidade⁽¹⁾. Assim que são colocadas em uso, já iniciam um processo de degradação inevitável devido a ação dos diversos agentes de degradação e perdem progressivamente sua capacidade de desempenho com o tempo⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾.

O estudo dos processos de degradação da envoltória é uma tarefa complexa pois envolve vários fatores⁽⁵⁾. Destaca-se que as variabilidades das condições de degradação das fachadas são influenciadas pelas variadas condições de sensibilidade e exposição da mesma aos agentes de deterioração⁽⁶⁾. Além disso, a utilização de diferentes materiais, com características e propriedades diversas exerce influência nos processos de degradação, uma vez que os mecanismos serão diferentes⁽⁷⁾.

Devido à progressiva degradação dos edifícios e aos elevados custos associados à sua construção, manutenção e reparação, o estudo da durabilidade dos edifícios e da degradação dos seus elementos, bem como da sua vida útil, tem vindo a assumir um papel cada vez mais importante⁽⁸⁾. Estudos da degradação e dos fatores intervenientes são de grande importância para o entendimento de comportamentos e identificação de padrões de degradação⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

A pesquisa está inserida no escopo do Projeto Degradação, Mensuração e Modelação (DMM *Project*⁽¹¹⁾), e visa contribuir com os estudos de degradação de fachadas de modo a tentar explicar o processo de degradação e os fatores ligados a ele a partir de uma base de dados consistente, produzida a partir de inspeções em fachadas de edifícios em uso em Brasília, Brasil. Diante disso, justifica-se o aprofundamento da temática e busca-se entender a variabilidade da degradação, a partir da sua distribuição física no plano vertical da fachada, ou seja, nos diferentes andares da edificação. A partir da observação de patologias e mapeamento de danos nas diferentes alturas e orientações é possível apontar as tendências pertinentes que possam explicar o processo da degradação.

O objetivo deste estudo é investigar a distribuição da degradação de fachadas com revestimento cerâmico aderido, identificando padrões que possam condicionar a degradação desse elemento, de modo a permitir identificar possíveis regiões mais críticas da fachada e mais propensas a degradação.

1.1 Degradação dos Sistemas de Revestimento

A degradação é entendida como um processo em que agentes causam a deterioração de uma ou de várias propriedades dos elementos do edifício, a partir de mecanismos de degradação, sendo sua ação geralmente evolutiva em relação ao tempo⁽¹²⁾⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾, com crescimento mais lento durante fase de iniciação, e intensificação do processo na fase de propagação, onde há maior sinergismo entre os agentes de degradação e entre as anomalias que vão surgindo⁽¹¹⁾.



Em geral, os edifícios residenciais apresentam fachadas compostas pelo substrato (blocos cerâmicos ou de concreto) e revestimento (argamassa, tinta e/ou cerâmico). A argamassa está presente em quase todos os sistemas de revestimento, sendo que há uma variação quanto ao seu emprego⁽¹⁴⁾. Em sistemas de revestimento cerâmico, embora as placas cerâmicas sejam o acabamento, é necessário a utilização de pelos menos três tipos de argamassa – a de regularização, a colante e a de rejunte).

Uma vez que o sistema de revestimento é composto por vários materiais, estes se comportam de forma distinta às solicitações que lhe são impostas⁽¹⁵⁾. Este comportamento diferenciado prejudica a aderência do revestimento ao substrato provocando o surgimento de anomalias e, conseqüentemente, reduzindo o desempenho do sistema de revestimento⁽¹⁶⁾. O surgimento de anomalias no sistema de revestimento afeta diretamente as propriedades que lhe são exigidas e, conseqüentemente, provoca redução na vida útil do sistema⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾.

As anomalias mais recorrentes observadas no sistema de revestimento cerâmico aderido em edifícios são descolamento, fissuração, falha de rejunte e eflorescência. Uma das principais causas do surgimento destas anomalias é a incapacidade do material de absorver deformações do sistema de revestimento que lhe são impostas, sejam estas deformações induzidas diretamente ou indiretamente⁽²⁰⁾.

2. METODOLOGIA

A metodologia da pesquisa utiliza o Método de Mensuração de Degradação (MMD)⁽²¹⁾⁽²²⁾⁽²³⁾. Este método foi aplicado a cinco edifícios localizados na cidade de Brasília - Brasil, de forma a caracterizar a degradação em sistemas de revestimentos de fachadas com cerâmica aderida, em edifícios de diferentes idades.

As amostras estudadas pertencem a base de dados desenvolvida pelo DMM *Project*, projeto detentor de base de dados significativa de inúmeros edifícios monitorados e inspecionados em uso, apresentando mais de 200 amostras. Para a pesquisa, foram selecionados edifícios com arquitetura e características particulares da cidade de Brasília, tais como edifícios com pilotis, seis pavimentos e idades variando de 20 a 45anos. A Figura 1(a) ilustra um exemplo do edifício utilizado.

O método MMD contempla várias etapas, desde a investigação documental dos edifícios, fase de inspeção in loco, até a quantificação em área das anomalias identificadas em cada amostra, permitindo o cálculo de diversos indicadores de degradação. É utilizada uma malha com dimensões quadradas de 50cm, sobreposta ao mapeamento de anomalias, que permite quantificar as áreas totais e áreas degradadas de cada pavimento, bem como quantificar a degradação por meio de indicadores como o Fator Geral de Degradação (FGD)⁽³⁾⁽¹¹⁾.

O FGD é indicador global de avaliação da degradação, aplicado à realidade das condições de construção, exposição e uso de edifícios do Distrito Federal. A partir do FGD, a evolução dos processos de degradação das fachadas em função do tempo pode ser verificada. O FGD é

obtido por meio da razão entre a área degradada ponderada por pesos referentes aos diferentes tipos de anomalias e a área de referência (equação 1)⁽¹¹⁾.

$$FGD = \frac{\sum_1^n (A_{an(n)} \times G_n \times RI_{(n)})}{A \times \sum G_{max}} \quad (1)$$

Onde: n é o grupo de anomalia (n=1 Descolamento, n=2 Fissuras, n=3 Juntas, n=4 Manchas), A_{an(n)} é a área danificada por uma anomalia do grupo n (m²), G_n é o fator de gravidade da anomalia⁽¹¹⁾, RI é um fator de ponderação da importância relativa de cada anomalia⁽¹¹⁾, A é a área total da amostra da fachada (m²) e G_{max} é a soma dos fatores de severidade máxima alcançados pelas anomalias⁽¹¹⁾ equivalente ao valor de 14.

Devido a sistematização dos dados, as informações fornecidas pelo MMD permitem avaliar a degradação com diferentes perspectivas, como a investigação da distribuição da degradação por andar. A Figura 1(b) ilustra a divisão da fachada em sete andares, sendo: primeiro andar (1º), segundo andar (2º), terceiro andar (3º), quarto andar (4º), quinto andar (5º), sexto andar (6º) e topo (TO).

Figura 1: (a) Edifício modelo; (b) Divisão da fachada em pavimentos



Fonte: (a) O autor; (b) O autor

Nesta pesquisa a degradação da fachada é analisada em diferentes alturas em que surgem e são desenvolvidas as anomalias. A altura é dividida por andar, como foi retratado na figura



1(b). A avaliação da degradação é inicialmente realizada por meio do indicador de degradação Fator Geral de Degradação do Andar (FGDa), obtido pela equação (2). Este indicador avalia a degradação por pavimento, levando em consideração a influência e a importância de cada tipo de anomalia presente no fenômeno de degradação. O FGDa é uma extensão do Fator Geral de Degradação (FGD)⁽¹¹⁾, porém, aplicado separadamente para cada andar analisado. Valores mais altos de FGD identificam maior degradação por diferentes anomalias na amostra da fachada analisada. Maior FGDa também indica maior degradação no pavimento da amostra analisada.

$$FGDa = \frac{\sum_1^n (A_{a(n)} \times G_n \times RI_{(n)})}{A_{a(t)} \times \sum G_{max}} \quad (2)$$

Onde: n é o grupo de anomalia (n=1 Descolamento, n=2 Fissuras, n=3 Juntas, n=4 Manchas), Aa(n) é a área danificada do andar por uma anomalia do grupo n (m²), Gn é o fator de gravidade da anomalia⁽¹⁶⁾, RI é um fator de ponderação da importância relativa de cada anomalia⁽¹⁶⁾, Aa(t) é a área total do andar em análise da amostra da fachada (m²) e Gmax é a soma dos fatores de severidade máxima alcançados pelas anomalias⁽¹⁶⁾ equivalente ao valor de 14.

Os diferentes edifícios apresentam uma variação dos níveis de degradação em virtude de diferentes idades, orientações e exposição aos agentes de degradação. Dessa forma, é necessário utilizar o indicador FGDa normalizado, denominado por Índice de degradação do andar (IDa), para normalizar e padronizar os resultados obtidos e assim, possibilitar a comparação de todos os dados. O IDa é obtido através da relação entre o FGDa e o FGD da amostra que o pavimento está inserido, conforme equação 3.

$$IDa = \frac{FGDa}{FGD} \quad (3)$$

Onde: IDa é o Índice de degradação do Andar, FGDa é o Fator Geral de Degradação do Andar e FGD é o Fator Geral de Degradação da amostra.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

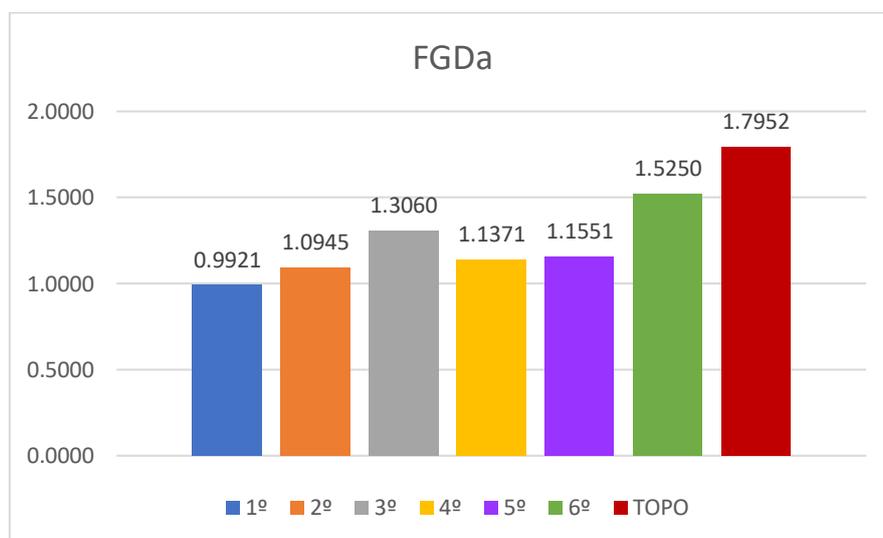
3.1 Fator Geral de Degradação no Andar

Os resultados médios de degradação obtidos a partir da aplicação da Equação 2 aos dados da amostra para cada andar é apresentado na Tabela 1, bem como é possível visualizar o perfil da degradação na Figura 2.

Tabela 1 – FGDa médio por pavimento

Andar	1º	2º	3º	4º	5º	6º	TOPO
Média FGDa	0,9921	1,0945	1,3060	1,1371	1,1551	1,5250	1,7952

Figura 2 – Fator Geral de Degradação do Andar



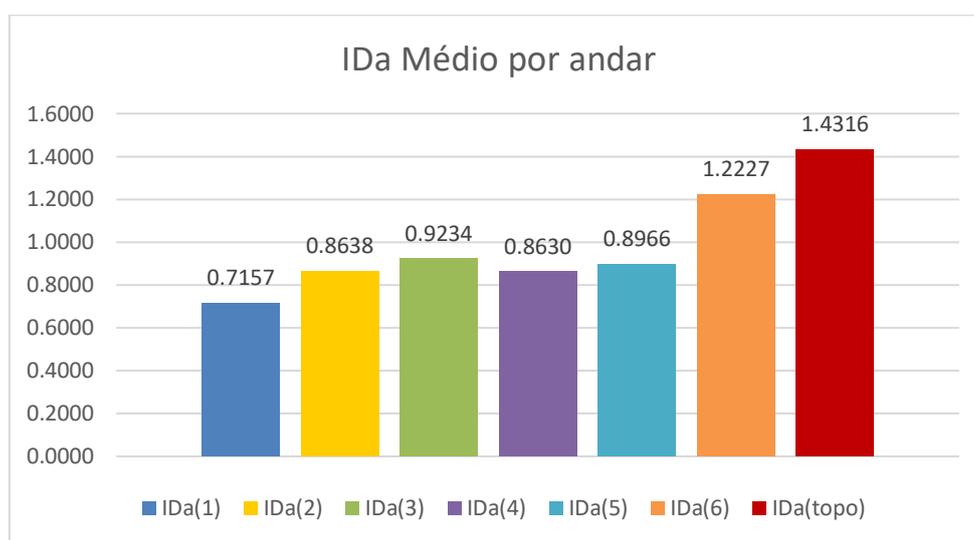
Fonte: O autor

A primeira análise da Figura 2 consiste em observar uma tendência crescente do FGDa a cada andar. Identifica-se que o FGDa aumenta em função da altura, com exceção do terceiro andar que se apresenta maior que o quarto e quinto andar. A região central do edifício composta por 2º, 4º e 5º andares apresentou FGDa quase constante. Sexto andar e topo apresentaram valores de FGDa maiores, evidenciando maior degradação nesses pavimentos.

3.2 Índice de Degradação do Andar

O estudo associado aos pavimentos busca identificar as associações que levam à degradação. O indicador IDa representa a degradação em cada andar de forma normalizada, através da divisão do FGDa pelo FGD da amostra, permitindo uma comparação entre diferentes amostras, independente da sua idade ou orientação. A Figura 3 apresentam os resultados médios obtidos para cada andar desse índice.

Figura 3 – Índice de Frequência para cada pavimento



Fonte: O autor

Tem-se o topo como o pavimento de maior Índice de Degradação do Andar, seguido pelo sexto andar. Andares mais baixos como primeiro, segundo e quarto, apresentaram os menores valores para o IDa. A associação entre a degradação medida pelo indicador FGDa e a IDa permite observar a contribuição dos pavimentos no processo. Como mostrado nas Figuras 2 e 3, o incremento do FGDa é claramente acompanhado pelo incremento do IDa, tendo um pico representativo no Topo da edificação. A homogeneidade da degradação entre os pavimentos 2, 3, 4 e 5 também é observada através desse índice.

Por fim, optou-se por fazer uma análise da degradação por Orientação Solar para verificar se diferentes exposições aos agentes de degradação climáticos alteraria o padrão observado anteriormente. Os resultados estão apresentados na Tabela 2 e mostram que para todas as orientações, a degradação segue o padrão geral de variabilidade entre andares, com maior IDa para o Topo e menor para o primeiro andar.

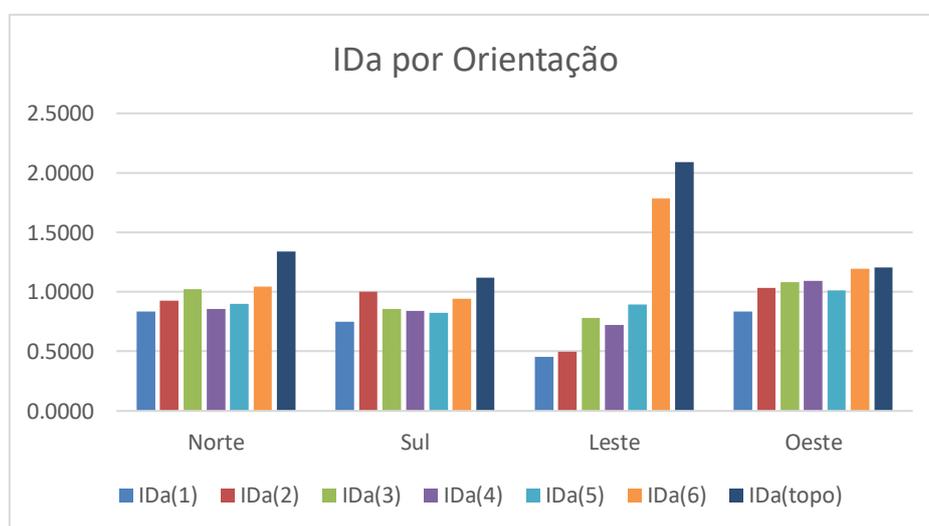
Tabela 2 – Índice de degradação do andar por orientação

Orientação	IDa por ANDAR						
	IDa(1)	IDa(2)	IDa(3)	IDa(4)	IDa(5)	IDa(6)	IDa(topo)
Norte	0,8378	0,9238	1,0219	0,8573	0,8981	1,0426	1,3371
Sul	0,7517	1,0030	0,8573	0,8405	0,8242	0,9414	1,1211
Leste	0,4524	0,4991	0,7830	0,7241	0,8968	1,7872	2,0888
Oeste	0,8338	1,0329	1,0810	1,0936	1,0148	1,1940	1,2067

A partir da figura 4, é possível visualizar o comportamento da degradação por andar em cada orientação. Observa-se um pico representativo para os andares 6 e topo principalmente para

a orientação Leste, e valores mínimos para andares 1 e 2 para essa mesma orientação. A representatividade do topo ocorre pela maior incidência de chuva observada neste andar, levando a maiores variações térmicas, bem como se tornam áreas mais propensas a infiltrações de água, manchas, eflorescências e outras patologias⁽⁵⁾. A explicação para o comportamento diferenciado do topo para a fachada Leste, que apresentou a pior situação, pode estar relacionada aos diferentes graus de exposição aos agentes de degradação por cada orientação cardinal, em especial, a incidência de radiação solar, responsável por deformações estruturais e nos elementos constituintes da fachada⁽²⁰⁾.

Figura 4 – Índice de degradação do andar por Orientação



Fonte: O autor

4 CONCLUSÕES

A partir da pesquisa apresentada, conclusões relevantes para o estudo da degradação em fachadas de revestimentos cerâmicos são propostas. A degradação é diferenciada nas áreas que compõem a fachada, e ocorre também nos diferentes andares. Na análise geral da degradação, o pavimento Topo é observado como o mais crítico. O aumento de FGD e a distribuição nos pavimentos a partir do IDa, mostram que a degradação é aumentada pela maior incidência em cada andar.

Observa-se que andares mais baixos apresentam menores índices de degradação e os pavimentos mais altos maiores índices. 6º andar e o Topo são aqueles que mais contribuem para aumento dos valores de FGD geral da amostra. Isso pode ser explicado pela maior incidência de agentes dos agentes de degradação nessa região, principalmente a radiação solar e chuva dirigida. Verifica-se que esse comportamento é muito semelhante para todas as orientações das fachadas dos edifícios.



As associações comportamentais apresentadas são contribuições que devem ser investigadas para projetos de novos edifícios e em estudos da vida útil e manutenção de edifícios. Propõe-se novos estudos que abordem sobre a análise da frequência e gravidade da degradação nos diferentes pavimentos do edifício, bem como de fatores que contribuem para essa variabilidade.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PIAZZAROLLO, C. B. **Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada.** p. 152, 2019.
2. SANTOS, M. J. B. O. **Catologação de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília. Brasília, Brasil, 2017. 212p.
3. SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes.** Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Brasília. 2016.
4. SILVA, A.; DE BRITO, J.; GASPAR, P. L. **Stochastic Approach to the Factor Method: Durability of Rendered Façades.** Journal of Materials in Civil Engineering, v. 28, n. 2, 2016.
5. CARRETERO-AYUSO, M. J. et al. **Interrelations between the types of damages and their original causes in the envelope of buildings.** Journal of Building Engineering, p. 102235, 2021.
6. COLEN, I. DOS S. F. B. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva.** p. 541, 2009.
7. BAUER, E. et al. **Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation.** Journal of Building Pathology and Rehabilitation, v. 5, n. 1, p. 1–10, 2020.
8. MOTA, L. M. G. **Estudo da iniciação e da propagação da degradação de fachadas com revestimento em argamassa.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179p, 2021.
9. BAUER, E.; DE SOUZA, J. S.; PIAZZAROLLO, C. B. **Application of the degradation measurement method in the study of facade service life.** Building Pathology and Rehabilitation, v. 12, p. 105–119, 2020.
10. SILVESTRE, J. D.; SILVA, A.; DE BRITO, J. **Uncertainty modelling of service life and environmental performance to reduce risk in building design decisions.** Journal of Civil Engineering and Management, v. 21, n. 3, p. 308–322, 2015.
11. BAUER, E.; SOUZA, A.L.R. **Failure patterns associated with facade zones and anomalies in the initiation and propagation of degradation.** JConstruction and Building Material, v. 347. 2022
12. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS ISO 15686-1 Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 1: General principles and framework.** London, 2011.



13. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS ISO 15686-2 Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures.** London, 2012.
14. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS ISO 15686-8 Buildings and constructed assets - Service life planning. Part 8: Reference service life and service-life estimation.** London, 2008.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13529: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas — Terminologia.** Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
16. BAUER, E; CASTRO, E. K. **Vida útil dos revestimentos de fachada - avaliação das manifestações patológicas nas fachadas de edifícios de Brasília.** In: Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. Anais ... Fortaleza, 2013.
17. SOUZA, J. et al. **Analysis of the influencing factors of external wall ceramic claddings' service life using regression techniques.** Engineering Failure Analysis, v. 83, p. 141–155, 2018.
18. FERREIRA, C. et al. **The impact of imperfect maintenance actions on the degradation of buildings' envelope components.** Journal of Building Engineering, v. 33, n. February 2021.
19. SOUZA, J. S. et al. **Study of damage distribution and intensity in regions of the facade.** Journal of Building Pathology and Rehabilitation, v. 1, n. 3, 2016.
20. SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios.** Tese de doutorado em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019. 139 p.
21. SILVESTRE J. D.; DE BRITO J. **Ceramic tiling in building facades: Inspection and pathological characterization using an expert system.** Construction and Building Materials, v. 25. 2011.
22. NASCIMENTO, M.L. M.; BAUER, E.; SOUZA, J. S.; ZANONI; V. A. G. **Wind-driven rain incidence parameters obtained by hygrothermal simulation.** Journal of Building Pathology and Rehabilitation, v. 1. 2016.
23. PINHEIRO, Pedro Ivo Santos. **Aplicação do Método de Mensuração da Degradação (MMD) ao estudo das fachadas de edifícios em Brasília.** Dissertação (Bacharel em Engenharia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
24. SILVA, Maria de Nazaré Batista da. **Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida Útil de Revestimentos de Fachada – Aplicação ao Caso de Brasília/DF.** 2014. Tese (Doutorado em Engenharia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.