

Variabilidade da degradação de fachadas com revestimento cerâmico em edifícios de Brasília, Brasil

Degradation variability of facades with ceramic coating on buildings in Brasília, Brazil

Maykon Vieira Silva 

Elton Bauer 

Resumo

Fachadas com revestimento cerâmico são amplamente utilizadas em edifícios devido à sua durabilidade, resistência às intempéries e estética atraente. Ao longo do tempo, essas fachadas estão sujeitas a diversos fatores que podem causar anomalias, afetando sua aparência e desempenho. Diferentes graus de proteção e exposição a agentes de degradação, bem como a variabilidade da qualidade dos materiais e processos construtivos levam a uma degradação diferenciada ao longo da fachada. O objetivo da pesquisa é o estudo da variabilidade da degradação ao longo da fachada, como ela se apresenta e quais os principais fatores responsáveis. A pesquisa parte de uma base de dados, desenvolvida a partir de inspeções em edifícios de Brasília, empregando o Método de Mensuração da Degradação (MMD). As análises são baseadas em indicadores de degradação. Os resultados mostram que há variabilidade da degradação decorrente de inúmeras variáveis. Edifícios mais antigos possuem maiores extensões de degradação. Observa-se que há variabilidade da degradação entre os andares da fachada da edificação, principalmente em relação ao sexto andar e topo, mostrando que a posição na fachada é fator significativo para o processo de degradação. A identificação de causas de degradação e de pontos mais vulneráveis da fachada permite o desenvolvimento de estratégias de projeto e manutenção adequadas.

Palavras-chave: Fachadas. Revestimento Cerâmico. Variação da degradação. Patologias.

Abstract

Ceramic coating finds are widely used in buildings due to their durability, weather resistance and attractive aesthetics. Over time, these facades are subject to various factors that can cause anomalies, affecting their appearance and performance. Different degrees of protection and exposure to degradation agents, as well as the variability in the quality of materials and construction processes lead to different degradation along the facade. The objective of the research is to study the variability of degradation along the facade, how it appears and which are the main factors responsible. The research is based on a database, developed from inspections of buildings in Brasília, using the Degradation Measurement Method (MMD). The analyzes are based on degradation indicators. The results show that there is variability in degradation resulting from numerous variables. Older buildings have greater extents of degradation. It is observed that there is variability in degradation between the floors of the building's facade, mainly in relation to the sixth floor and top, showing that the position on the facade is a significant factor in the degradation process. The identification of causes of degradation and the most vulnerable points of the facade allows the development of appropriate design and maintenance strategies.

Keywords: Facades. Ceramic Coating. Degradation variation. Pathologies.

¹Maykon Vieira Silva
¹Universidade de Brasília
Brasília - DF - Brasil

²Elton Bauer
²Universidade de Brasília
Brasília - DF - Brasil

Recebido em 18/06/23
Aceito em 13/12/23

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 (Cóias, 2007). Elas exercem papel de extrema importância para a edificação no que diz respeito ao desempenho e durabilidade, porém, estão entre os elementos mais susceptíveis à degradação devido a sua exposição aos agentes de degradação externos climáticos como radiação solar, chuva e vento (Carretero-Ayuso; Moreno-Cansado; García-Sanz-Calcedo, 2019; Pedroso *et al.*, 2020; Souza; Bauer, 2016).

As fachadas com revestimento cerâmico são amplamente utilizadas em todo o mundo devido às suas propriedades técnicas e estéticas. Os revestimentos cerâmicos são compostos por placas cerâmicas aderidas à estrutura do edifício, formando uma camada protetora que pode ser aplicada em diferentes tipos de substratos, como concreto, alvenaria ou metal. Esses revestimentos são conhecidos por sua durabilidade, resistência à umidade, variações de temperatura e radiação solar, além de sua estética atraente (Castro *et al.*, 2023; Gaspar, 2017; Magos *et al.*, 2016). As fachadas são projetadas para serem utilizadas por um determinado período (vida útil), desempenhando todas as funções para as quais foram projetadas, sem custos de manutenção excessivos. No entanto, ao longo do tempo, fatores como exposição a agentes de degradação podem causar degradação, afetando sua aparência, desempenho, durabilidade, além de trazer riscos à segurança dos usuários (Andrade; Bauer; Souza, 2023; Silva; Brito; Gaspar, 2016).

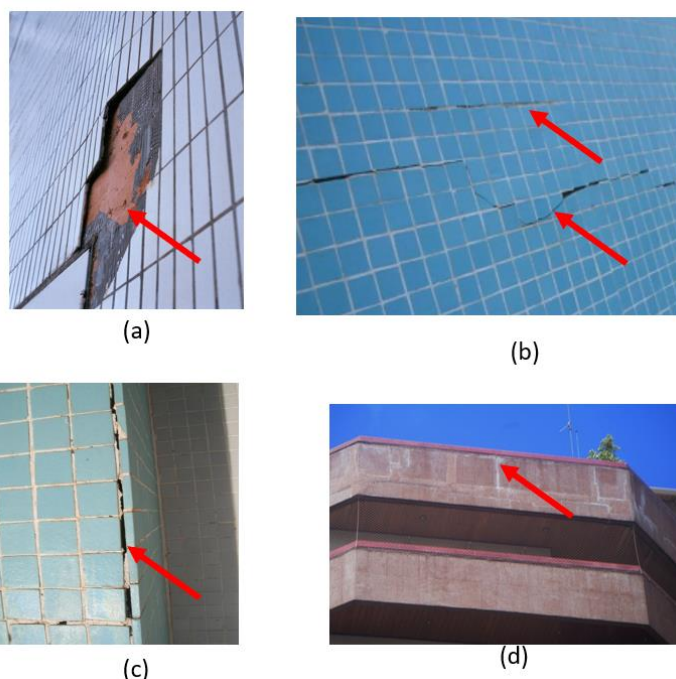
O processo de degradação de fachadas é causado pela ação dos agentes de degradação e pode ocorrer por diferentes mecanismos, dependendo dos agentes agressores presentes no ambiente, da sua intensidade e das condições de instalação e manutenção do revestimento (Andrade; Kardec; Bauer, 2021; Souza *et al.*, 2018; Yiu; Ho; Lo, 2007; Zurbruggen; Herwegh, 2016). Os agentes de degradação são fatores ambientais, químicos, físicos ou biológicos que podem causar danos aos materiais ao longo do tempo. Esses agentes podem ser externos, como a ação da chuva, do vento, da radiação solar, poluição, impactos ou ser internos, como o desgaste devido ao uso (ASTM, 1996; Santos, 2018).

Os mecanismos de degradação são os processos pelos quais esses agentes atuam nos materiais, causando alterações em suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, resultando em defeitos e anomalias que afetam sua aderência, integridade e aparência. Esses mecanismos estão associados a estrutura e composição química dos materiais que compõem os elementos, sendo diferente para cada tipo de material. Alguns exemplos de mecanismos de degradação são a corrosão, a erosão, a abrasão, a variação térmica, a fadiga, a fissuração, a oxidação, a degradação química e biológica, descolamento e manchamento (ASTM, 1996; Colen, 2009). Os mecanismos de degradação podem estar associados aos agentes, bem como a outros mecanismos, como o caso do descolamento que pode ser originado ou intensificado pela fissuração (Bauer; Souza; Mota, 2021).

Com a incidência de agentes e mecanismos, se inicia a manifestação de anomalias na fachada, problemas ou defeitos que podem surgir durante a instalação, manutenção ou uso do sistema de revestimento cerâmico, incluindo descolamento das placas cerâmicas, fissuração, falhas em juntas, manchas, desbotamento, entre outros problemas (Carretero-Ayuso *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2020; Silvestre; Silva; de Brito, 2015). Diversos autores buscam estudar as principais anomalias de fachadas com revestimento cerâmico. Em seus trabalhos, constata-se que o descolamento cerâmico é a mais recorrente e em seguida fissuras, independentemente da localização ou zona da fachada avaliada (Almeida *et al.*, 2021; Ferreira *et al.*, 2019; Piazzarollo, 2019; Silva; de Brito; Gaspar, 2012; Souza; Bauer, 2016). A Figura 1 apresenta as principais manifestações patológicas do sistema de revestimento cerâmico.

O estudo dos processos de degradação da envoltória é uma tarefa complexa pois envolve vários fatores e exige experiência do profissional da engenharia para análise dos sistemas e subsistemas formados. Destaca-se que as variabilidades das condições de degradação das fachadas são influenciadas pelas diversas condições de sensibilidade e exposição da mesma aos agentes de deterioração (Carretero-Ayuso; Sáez-Pérez, 2021; Colen, 2009). Além disso, a utilização de diferentes materiais, com diferentes características e propriedades, exerce influência nos processos de degradação, uma vez que o mecanismo de degradação será diferente. Compreender essa variabilidade é fundamental para a identificação de causas e o desenvolvimento de estratégias eficazes de inspeção e manutenção (Ballesteros; Lordsleem Junior, 2021; Bordalo *et al.*, 2011; Ruiz *et al.*, 2021; Silva; Brito; Gaspar, 2016; Souza *et al.*, 2018, 2020).

Figura 1 - Principais manifestações patológicas do sistema de revestimento cerâmico: (a) Descolamento cerâmico, (b) fissuração, (c) falha nas juntas, (d) manchas



Fonte: Silva (2014).

No caso da penetração de água, que é um dos principais mecanismos de degradação, a água pode infiltrar-se na fachada por meio de juntas mal executadas, fissuras, porosidades ou outras falhas no sistema de revestimento. A presença de umidade pode então interferir na aderência da argamassa de fixação, causando o descolamento das placas cerâmicas. O constante ciclo de aquecimento e resfriamento ao qual a fachada está submetida diariamente incrementa ainda mais o processo de degradação, por causar tensões diferenciais que pode levar a fadiga dos materiais, acarretando o surgimento de anomalias (Bauer *et al.*, 2020; Wetzel *et al.*, 2012).

A exposição aos agentes de degradação e seus mecanismos influenciam de formas diferentes o processo de degradação. Há outros aspectos, como a exposição e a questão de trechos mais ou menos abrigados em relação aos agentes, que causam uma heterogeneidade da degradação ao longo das fachadas. O objetivo da pesquisa é realizar o estudo sobre a degradação de fachadas com revestimento cerâmico, investigando se existe uma variabilidade da degradação em relação aos andares da fachada. Investiga-se como a variabilidade se apresenta e é tipificada, e o que leva a essa variabilidade, observando se há elementos preponderantes ou trechos de maior ou menor degradação. Isso possibilita identificar as condições em que as fachadas com revestimento cerâmico são mais propensas a se degradar, bem como determinar a vida útil do revestimento e estratégias de manutenção mais adequadas.

Mensuração da degradação

A quantificação da degradação de fachadas com revestimento cerâmico pode ser realizada por meio de técnicas de inspeção visual, análise de amostras em laboratório e ferramentas de medição e monitoramento. É importante para avaliar o nível de risco e a necessidade de intervenção na fachada, contribuindo para a preservação do patrimônio construído e para a segurança e conforto dos usuários (Brasil; Zanoni, 2018). Para a quantificação da degradação são utilizados os índices de degradação de fachadas, medidas quantitativas que permitem avaliar o grau de deterioração do sistema de revestimento e do substrato (Ferreira *et al.*, 2021a).

Para a medição e quantificação da degradação há o Método de Mensuração da Degradação (MMD), desenvolvido pelo Projeto Degradação de Edifícios: Mensuração e Modelação (DMM Project). O MMD consiste em um conjunto de procedimentos de investigação e análise que permitem obter índices de quantificação de degradação. As quantificações são baseadas no estudo de anomalias e regiões degradadas (Bauer; Castro; Silva, 2015; Bauer; de Souza; Piazzarollo, 2020). Além de estudos de Brasília, há investigações em diferentes regiões do país que validam a aplicação desse método, como no Espírito Santo

(Pacheco; Vieira, 2017) e no Rio Grande do Sul. Em Portugal, é proposto um método por Gaspar e de Brito (2008) para mensuração da degradação de fachada bastante consolidado e utilizado em diversas investigações (Gaspar, 2017; Silvestre; Silva; de Brito, 2015). São definidos alguns passos básicos na Figura 2, para aplicação do MMD.

Para a inspeção de campo utiliza-se técnicas de captura e ortogonalização de imagens digitais, varredura a laser, termografia infravermelha e inspeção física, quando necessário. Os dados coletados podem incluir informações como a idade do revestimento, as condições de limpeza e manutenção, a presença de fissuras, descolamentos, mancha ou outros sinais de degradação (Costa, 2014; Santos *et al.*, 2018; Silva, 2014; Souza *et al.*, 2018). As anomalias observadas são classificadas em quatro grupos principais (descolamento, fissuras, falhas em juntas e manchas). Esta definição é sustentada por extenso estudo de caracterização da fachada de anomalias desenvolvido pelo DMM Project (Bauer; Souza, 2022; de Andrade; Bauer; Souza, 2023; Ramos; Bauer, 2022).

O método MMD, possui uma particularidade da amostragem que é a divisão da fachada em amostras de fachada, como na Figura 3a. Diferentemente, em outros estudos, vários métodos quantificam a degradação de toda a fachada, ou seja, trata toda a fachada como amostra única (Galbusera; Brito; Silva, 2014; Magos *et al.*, 2016; Prieto; Silva, 2020). No MMD, o uso da segmentação das fachadas em amostras e a sua análise em particular, permite investigações mais específicas como: Avaliar e definir zonas preferenciais de degradação (Piazzarollo, 2019), observar a variabilidade da degradação ao longo da fachada (Rodrigues Neto; Bauer, 2022a) e comparar diferentes comportamentos de elementos arquitetônicos (fachada contínua, empenas, sacadas e escadas) (Bauer; de Souza; Piazzarollo, 2020).

Figura 2 - Passo a passo do MMD

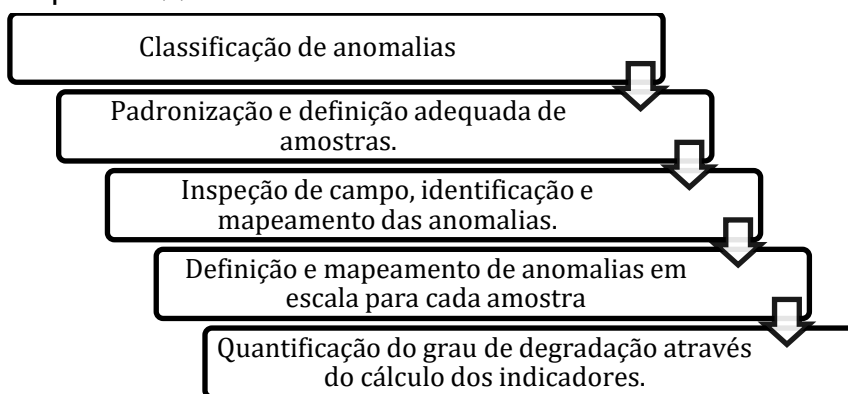


Figura 3 - (a) Exemplo da definição de amostras de fachada; (b) Mapeamento de danos



Para a definição das amostras, há uma padronização de critérios, o que é interessante para comparar os resultados entre edifícios com projetos diferentes. Este procedimento de divisão possibilita a criação de amostras mais homogêneas para facilitar a avaliação da degradação. Após definidas as amostras, as etapas seguintes são a inspeção, identificação, mapeamento de anomalias (Figura 3b) e a quantificação da degradação é expressa em termos de áreas degradadas da amostra (Bauer *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2016).

A quantificação da degradação pode ser realizada por meio de indicadores como o Fator Geral de Degradação (FGD) (Bauer; Souza, 2022; Souza *et al.*, 2016). O FGD é o indicador global de avaliação da degradação aplicado à realidade das condições de construção, exposição e uso de edifícios. É uma medida que quantifica o grau de deterioração do sistema de revestimento cerâmico. A partir do FGD, é possível fazer análises da evolução dos processos de degradação das fachadas em função do tempo. Ele pode ser determinado por meio de uma avaliação visual da fachada, que permite identificar as anomalias presentes em diferentes áreas da fachada. Cada anomalia pode ser classificada de acordo com sua gravidade e sua extensão, sendo atribuída a ela um peso em função de sua importância e do risco que representa para a fachada. A soma das áreas degradadas por cada anomalia identificada na fachada, ponderada pelos índices de gravidade e representatividade, resulta no fator geral de degradação (Bauer; Souza, 2022), conforme Equação 1.

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

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 (Bauer; Souza, 2022);

RI é um fator de ponderação da importância relativa de cada anomalia (Bauer; Souza, 2022);

A é a área total da amostra da fachada (m²); e

G_{max} é a soma dos fatores de severidade máxima alcançados pelas anomalias equivalente ao valor de 14.

Vários autores discutem a associação do FGD com modelos de vida útil. Nas pesquisas desenvolvidas a partir da base de dados do DMM Project é possível associar o valor de FGD igual a 0,05 como valor limite de vida útil, a partir do qual o estado de degradação se torna inaceitável (Bauer; De Souza; Piazzarollo, 2020; Souza, 2019; Souza; Piazzarollo; Bauer, 2019; Souza; Bauer, 2020). Essa definição embasa toda a formulação para a estimativa de vida útil e converge com valores similares na literatura internacional (BCIS, 2001; Shoet; Paciuk, 2004).

O processo de degradação de fachadas com revestimento cerâmico pode ser dividido em duas fases, de acordo com o grau de deterioração. A primeira fase é a de iniciação, para valores de FGD inferiores a 0,05, onde ocorrem os primeiros sinais de danos na superfície do revestimento cerâmico até o final da vida útil. A segunda é a fase de propagação, para valores superiores a 0,05, com o agravamento dos danos, que se espalham pela superfície do revestimento cerâmico, atingindo camadas mais profundas da estrutura (Bauer; Souza, 2022; Bauer; Souza; Mota, 2021). O nível de degradação, investigado pelas fases de iniciação e propagação, mostra que os padrões de degradação mudam e são controlados de forma diferenciada (Bauer; Souza, 2022; Bauer; Souza; Mota, 2021; Souza *et al.*, 2022).

Método

Para a identificação e quantificação da variabilidade da degradação no decorrer da fachada, realiza-se análises a partir de um conjunto de edifícios estudados sob condições em serviço, aplicando o Método de Mensuração da Degradação (MMD) e posteriormente fazendo uso de ferramentas estatísticas. A degradação medida nestas condições permite estudos relevantes e direcionados a respeito do processo de degradação, bem como entender e propor hipóteses que justifiquem a variabilidade da degradação.

Seleção das amostras e variáveis analisadas

Baseado em uma análise preliminar da variabilidade e critérios como idade, altura, localização geográfica e nível de degradação, são selecionadas 65 amostras com distribuição de idade entre 20 e 45 anos, buscando edifícios da base de dados desenvolvida pelo DMM Project com degradação mais perceptível.

Os edifícios utilizados são de Brasília, cidade situada no centro do Brasil, com coordenadas geográficas 15,78°S e 47,92°O, conforme Figura 4, apresentando clima tropical com inverno seco e está situada na zona

bioclimática 4 (Maciel, 2002). Nascimento (2016) referem que cerca de 39% das horas do ano apresentam alta umidade relativa (acima de 75% de HR) e uma temperatura média de 21,1 °C.

A cidade de Brasília é reconhecida pela qualidade de sua arquitetura e urbanismo, especialmente por serem considerados “Patrimônio Nacional” e “Patrimônio Cultural da Humanidade” pela UNESCO. Seus edifícios residenciais são implantados isoladamente uns dos outros e são limitados a altura máxima de seis pavimentos. Os edifícios são caracterizados por fachadas de revestimento cerâmico aderido, presença de pilotis, alvenaria de blocos cerâmicos e estrutura de concreto armado. Essa padronização de características e tecnologia construtiva permite a comparação de edifícios de diferentes idades e com diferentes graus de exposição aos agentes de degradação. É importante ressaltar que os dados são condicionados por essa tipicidade dos edifícios utilizados, bem como às características do clima local, processo construtivo regional e normas técnicas vigentes no país, e comparações entre resultados de base de dados diferentes devem ser avaliadas com muito cuidado.

As fachadas são divididas em várias amostras (Figura 3a), sendo esta subdividida em andares. As divisões e subdivisões da fachada são apresentadas na Figura 5. A pesquisa analisa a variabilidade da degradação para os andares do edifício (sendo 6 andares e mais o topo).

As variáveis dependentes correspondem ao nível de degradação e nos seus resultados são aplicadas ferramentas estatísticas para análise da variabilidade, na busca de identificar os fatores responsáveis por essa diferenciação. Busca-se a variabilidade desses índices em relação as variáveis independentes citadas nessa etapa. A análise da variabilidade da degradação é proposta para as posições em relação à altura da fachada, identificadas pelos andares. Complementando, tem-se como variável independente a orientação cardeal das fachadas (Norte, Sul, Leste e Oeste), possibilitando análise da variabilidade em relação ao grau de exposição aos agentes. A investigação da variabilidade também é realizada para as fases de iniciação e propagação.

Figura 4 - Localização geográfica da cidade de Brasília



Figura 5 - Divisão da fachada em amostras e subdividida em andares



A partir do processo investigativo da variabilidade da degradação nos edifícios selecionados, conclusões a respeito de um padrão de comportamento da degradação de fachadas com revestimento cerâmico são requeridas. O Quadro 1 resume as variáveis analisadas.

Cálculo dos indicadores de degradação

Fator geral de degradação no andar

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. 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 3. A avaliação da degradação nos andares é realizada por meio do indicador de degradação Fator Geral de Degradação do Andar (FGDa), conforme Equação 2.

$$FGDa = \frac{\sum_1^n (A_{andar(n)} \times G_n \times RI(n))}{(A_{andar(t)} \times \sum G_{max})} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

n é o grupo de anomalia ($n=1$ Descolamento, $n=2$ Fissuras, $n=3$ Falha nas Juntas, $n=4$ Manchas);

$A_{andar(n)}$ é a área danificada do andar por uma anomalia do grupo n (m^2);

G_n é o fator de gravidade da anomalia (Bauer; Souza, 2022);

RI é um fator de ponderação da importância relativa de cada anomalia (Bauer; Souza, 2022);

$A_{andar(t)}$ é a área total do andar em análise da amostra da fachada (m^2); e

G_{max} é a soma dos fatores de severidade máxima alcançados pelas anomalias equivalente ao valor de 14.

O FGDa é uma aplicação da Equação 1, restrita a cada andar da amostra, possibilitando calcular o FGD de cada andar e investigar a variabilidade. Este indicador avalia a degradação por andar, levando em consideração a influência e a importância de cada tipo de anomalia presente no fenômeno de degradação. Valores mais altos de FGD identificam maior degradação por diferentes anomalias na amostra da fachada analisada. Maior FGDa também indica maior degradação no andar da amostra. A Tabela 1 apresenta alguns exemplos de como os resultados para o FGDa são organizados.

Quadro 1 - Variáveis analisadas

Variáveis independentes	Andar	1°
		2°
		3°
		4°
		5°
		6°
		Topo
	Orientação	Norte
		Sul
		Leste
Oeste		
Variáveis dependentes	FGD	
	FGDa	
	IDa	

Tabela 1 - Exemplo dos resultados de FGDa de cada andar para três amostras

Amostra	FGD	FGDa(1)	FGDa(2)	FGDa(3)	FGDa(4)	FGDa(5)	FGDa(6)	FGDa(topo)
A6.4	0,1049	0,1818	0,1484	0,1358	0,1714	0,1515	0,1455	0,3307
A28.12	0,1456	0,0325	0,0584	0,0357	0,1351	0,1732	0,2286	0,2130
A29.2	0,0624	0,0115	0,0518	0,1334	0,0294	0,1336	0,1375	0,0725

Índice de degradação do andar

A degradação é diferenciada tanto em função da exposição aos agentes como também em função da idade do edifício. Para se poder avaliar e comparar situações de diferentes níveis de degradação e poder investigar a sua variabilidade, é necessário a normalização do FGDa. Dessa forma, utiliza-se o indicador Índice de degradação do andar (IDa) obtido através da razão entre o FGDa e o FGD da amostra em que o andar está inserido, conforme Equação 3, possibilitando padronizar os resultados e a comparação de todos os dados.

$$IDa = \frac{FGDa}{FGD} \quad \text{Eq. 3}$$

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.

A Tabela 2 apresenta alguns exemplos de resultados de IDa para três amostras.

Análise da variabilidade

Para análise da variabilidade, utiliza-se de ferramentas estatísticas e medidas de dispersão para as amostras selecionadas. A Análise de Variância (ANOVA) é realizada utilizando todos os resultados de IDa para avaliar se existe uma diferença significativa entre as médias da degradação para as variáveis comparadas. Todos os resultados de IDa de um mesmo andar representam um grupo, ou seja, tem-se sete grupos para os cálculos da ANOVA. A ANOVA segue o modelo geral representado pela Equação 4:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

Y_{ij} é valor da variável resposta na j -ésima observação do i -ésimo tratamento;

μ é a média geral de todos os tratamentos; α_i é o efeito do i -ésimo tratamento; e

ε_{ij} é o erro aleatório (residual).

A Análise de Variância é realizada através da tabela ANOVA padrão, conforme modelo ilustrado no Quadro 2, onde se obtém os resultados do Fcalc e P-valor, indicadores que possibilitam a verificação da existência de variabilidade.

Se o valor de Fcalculado pelo Teste F for maior que o Fcrítico ou se P-valor for menor que 0,05, pelo teste de hipóteses, tem-se que a hipótese nula de igualdade entre as médias (H_0) é rejeitada com 95% de confiabilidade e há variabilidade entre os fatores analisados, conforme explicado na Quadro 3. Nos casos em que se identifica variabilidade, são realizados Testes T-Student para verificar quais os grupos que se divergem significativamente entre si por meio da comparação entre as médias (Montgomery; Runger, 2018; Snedecor; Cochran, 1989). Por exemplo, na investigação da variabilidade dos andares, é realizada a Análise da Variância, onde todos os resultados de IDa para verificar se a degradação de algum andar é diferente de qualquer outro; caso confirme a diferenciação, segue com os testes T-student entre dois andares (agrupamentos dois a dois) para constatar quais andares que realmente diferem entre si.

Tabela 2 - Exemplo dos resultados de IDa de cada andar para três amostras

Amostra	FGD	IDa(1)	IDa(2)	IDa(3)	IDa(4)	IDa(5)	IDa(6)	IDa(topo)
A6.4	0,1049	1,7334	1,4144	1,2949	1,6343	1,4445	1,3867	3,1528
A28.12	0,1456	0,2230	0,4015	0,2454	0,9279	1,1896	1,5703	1,4632
A29.2	0,0624	0,1845	0,8303	2,1381	0,4705	2,1411	2,2038	1,1622

Quadro 2 - Tabela padrão ANOVA

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F
Entre tratamentos	K-1	Qe	Se ² = Qe/K-1	Fcalc=Se ² /Sr ²
Dentro das Amostras (Residual)	N-k	Qr=Qt-Qe	Sr ² = Qr/N-k	-
Total	N-1	Qt	-	-

Quadro 3 - Teste de hipóteses

	Hipótese	Médias das amostras	Decisão	Variabilidade
H0	Hipótese nula	Iguais	Aceita H0	Não há variabilidade
H1	Hipótese alternativa	Diferentes	Rejeita H0	Há variabilidade

Resultados e discussões

A degradação de fachadas com revestimento cerâmico é um problema recorrente na construção civil e o estudo da sua variação é complexo pois ela está diretamente relacionada a diversos fatores. A partir da análise realizada, é possível identificar e quantificar a variabilidade da degradação de fachadas em relação aos andares. O estudo da variabilidade da degradação busca entender e explicar comportamentos que definem tendências. Nesta abordagem, o trabalho traz resultados da degradação e sua variabilidade nos andares da fachada.

Análise da degradação por meio do Fator Geral de Degradação (FGD)

A Figura 6 apresenta a distribuição das frequências dos resultados de Fator Geral de Degradação (FGD) para as amostras selecionadas para este estudo por meio de histograma. Apenas 22 amostras se encontram na fase de iniciação da degradação, com valores de FGD até 0,05. As outras 43 amostras estão na fase de propagação. Através da distribuição dos resultados, observa-se um comportamento exponencial, que é padrão e esperado para avaliações de degradação de fachadas (Silva, 2014; Souza, 2016). Valores mais altos à esquerda indicam uma maior frequência para valores menores de degradação. Observa-se que os valores vão reduzindo à medida que aumenta o nível de degradação.

Os edifícios utilizados nesse trabalho encontram em idades superiores a 20 anos, sendo provável que a maioria já apresentasse uma maior extensão de anomalias, refletindo em maiores valores de FGD (maiores que 0,05), visto que a degradação é um processo espontâneo e natural que aumenta no decorrer do tempo (Bochen; Nowoświat, 2019; Santos, 2018).

A Figura 7 apresenta a distribuição dos resultados de Fator Geral de Degradação (FGD) para as amostras, divididas em dois grupos de idades. Observa-se que nos dois grupos de idades há valores baixos e valores elevados para degradação, que pode ser justificado pelo fato de se ter fachadas abrigadas ou desabrigadas em ambos os grupos. A diferença observada entre os valores de cada grupo são os máximos e mínimos, onde tem-se o extremo inferior de degradação no grupo de edifícios mais jovens e o extremo superior nos edifícios mais velhos. Observa-se também diferenciação entre a degradação das amostras de acordo com a idade, quando se analisa a frequência do número de ocorrências para níveis altos ou baixos de degradação.

Para os edifícios com idades variando entre 20 e 35 anos, observa-se valores de FGD abaixo de 0,15 com uma parte representativa abaixo do limite de vida útil de 0,05. Edifícios mais antigos, com idades entre 36 e 50 anos, apresentam maior número de casos com valores acima de 0,05, com a grande maioria superiores a 0,10 e algumas amostras ultrapassando a marca de 0,20, ou seja, mais de quatro vezes maior que o limite considerado como o aceitável para vida útil. Bauer e Castro (2015) afirmam que os danos apresentados em edifícios com idades jovens, se não tratados, podem evoluir para processos progressivos de degradação em idades mais avançadas, refletindo nos maiores níveis de degradação dos edifícios mais antigos.

Figura 6 - Histograma de resultados de FGD das amostras

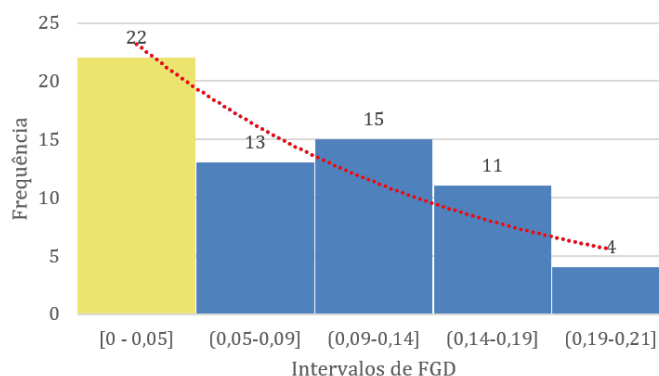
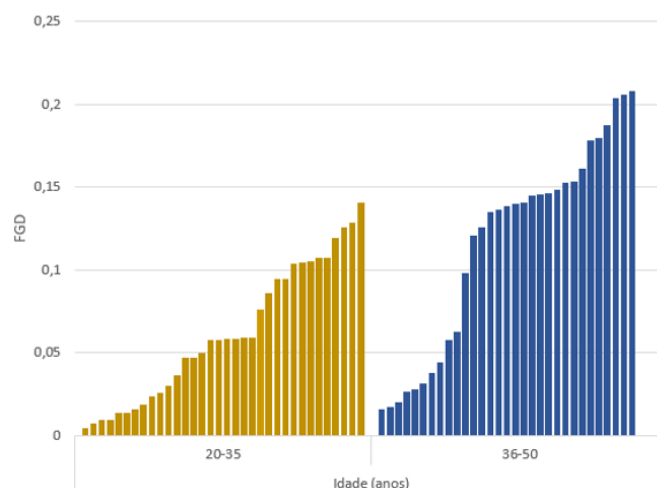


Figura 7 - Gráfico do FGD para os grupos de idades



A análise para orientação apresentada na Figura 8, mostra que a distribuição da degradação não ocorre de forma uniforme para todas as orientações. As orientações Norte e Oeste apresentam valores altos de FGD para a grande maioria das amostras. A orientação Leste apresenta valores de FGD extremos, sejam eles muito altos ou muito baixos. Sul apresenta valores distribuídos em todos os níveis de degradação.

De acordo com a Figura 8, para a orientação Leste, observa-se mais da metade das amostras com valores abaixo de 0,05, diferente das orientações Norte e Oeste, que apresentam predominantemente casos acima desse valor. A orientação Sul apresenta uniformidade em relação ao número de ocorrências para cada nível de degradação. Em todas as orientações há valores elevados e valores abaixo de 0,05 para FGD, logo, não é apenas a orientação que condiciona a variação da degradação.

As tendências diferentes de comportamentos para cada orientação são resultantes do grau de exposição aos agentes de degradação de cada fachada (Souza, 2016). É importante ressaltar que o comportamento de degradação das orientações muda no decorrer das idades. Isso denota o caráter cumulativo das ações dos agentes sobre o edifício. É possível observar nitidamente que as orientações com maior incidência dos agentes climáticos, particularmente incidência solar, são as mais degradadas, como no caso da orientação Norte (Zanoni, 2015). De acordo com Nascimento (2016) em investigações utilizando simulação higratérmica, no período chuvoso de Brasília, as maiores ocorrências de chuva dirigida incidem sobre as fachadas Norte e Oeste e no seco sobre as orientações Sul e Leste (menor quantidade).

Observa-se a presença de amostras com diferentes níveis de degradação, desde baixo até alto, para todas as orientações e todos os grupos de idades. Essa variabilidade pode ocorrer devido a resposta do edifício à ação dos diferentes agentes de degradação e diferentes intensidades, bem como o fato das fachadas poderem estar protegidas ou desprotegidas (Carretero-Ayuso *et al.*, 2021; Silva; De Brito; Gaspar, 2018).

Degradação nos andares

Fator geral de degradação no andar

Os resultados de degradação obtidos a partir da aplicação da Equação 2 para cada andar das amostras são apresentados na Figura 9, onde é possível visualizar o perfil da degradação nos andares. Observa-se de forma evidente que há variabilidade da degradação entre as orientações cardeais e que também há diferenciação da degradação entre os andares dentro de uma mesma orientação.

A partir da observação dos gráficos, verifica-se maior magnitude do índice para o topo em quase todas as orientações, com exceção da Oeste. Os menores valores de FGDa são vistos para orientação Leste, e os maiores para Norte, seguida pela Oeste. Observa-se menor variabilidade entre os valores para a orientação Leste. A homogeneidade da degradação entre os andares 2, 3, 4 e 5 é observada através desse índice. A medida obtida pelo indicador FGDa pode ser associada ao FGD, representando a contribuição dos pavimentos no processo de degradação e verificação dos andares mais e menos degradados para cada amostra.

Figura 8 - Resultados do FGD para cada orientação

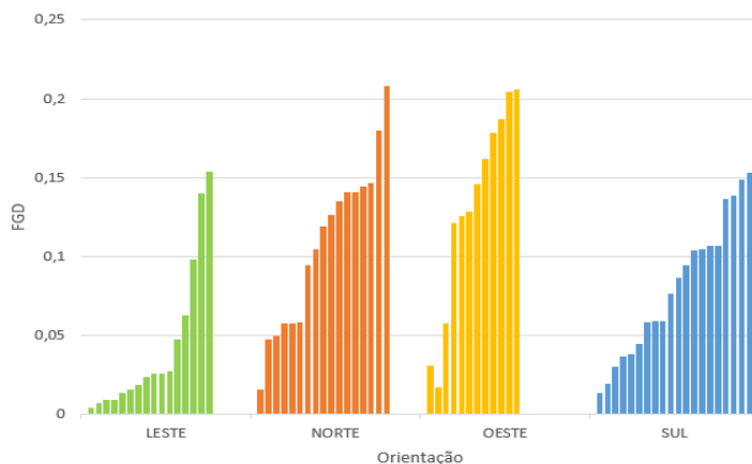
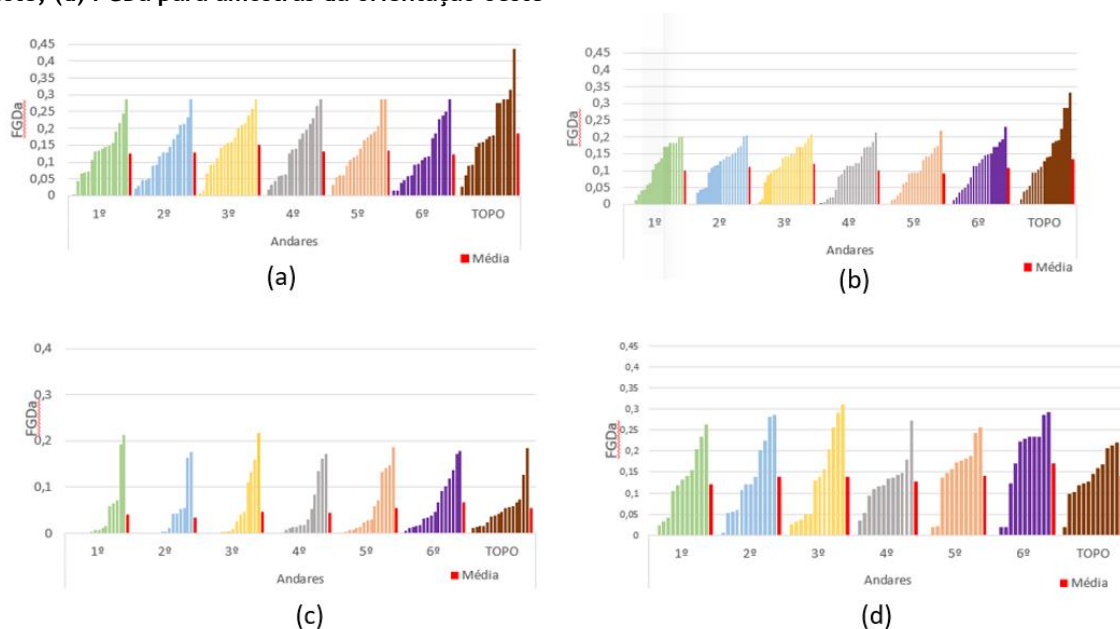


Figura 9 - Gráficos do Fator Geral de Degradação do Andar (FGDa): (a) FGDa para amostras da orientação norte; (b) FGDa para amostras da orientação sul; (c) FGDa para amostras da orientação leste; (d) FGDa para amostras da orientação oeste



O comportamento da variabilidade para o índice FGDa, bem como sua magnitude podem ser verificados na Tabela 3. Os valores de coeficientes de variação confirmam a variabilidade identificada visualmente pelos gráficos da Figura 9. Os menores valores de coeficiente de variação ocorrem para a orientação Leste. Os maiores valores médios de FGDa são encontrados para orientações Norte e Oeste, assim como os maiores valores de máximos.

Índice de degradação do andar

O estudo associado aos andares busca investigar a degradação nas posições da fachada em relação as alturas. O IDa avalia o nível de degradação do andar em relação a degradação da amostra. Quanto mais próximo do valor 1, significa que a degradação do andar é similar à da amostra. Valores menores indicam que ela é inferior e valores maiores, que a degradação do andar é mais representativa em relação à degradação da amostra. Nessa análise, é possível identificar em quais andares a degradação é mais ou menos significativa.

A Figura 10 apresenta os resultados médios para o IDa de todos os andares. A partir desse índice, é possível comparar a variabilidade da degradação entre andares, padronizando em relação a degradação da amostra. Observa-se que há um crescimento do IDa conforme sobe os andares.

Tem-se o topo como o pavimento de maior Índice de Degradação do Andar, seguido pelo sexto andar. Andares mais baixos como o primeiro, apresentam os menores valores para o IDa. A associação entre a degradação medida pelo indicador IDa e o FGD da amostra permite observar a contribuição dos andares no processo de degradação. A homogeneidade da degradação entre os andares 2, 3, 4 e 5 também é observada através desse índice.

A análise da degradação por Orientação Cardeal permite verificar se diferentes localizações geográficas e exposições aos agentes de degradação climáticos alteraria o padrão observado anteriormente. Os resultados estão apresentados na Tabela 4 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, com exceção da orientação Leste, que possui o segundo andar como o menos degradado.

Tabela 3 - Medidas de dispersão do FGDa por orientação cardeal

Orientação	Medidas de dispersão	Andares						
		1º	2º	3º	4º	5º	6º	TOPO
Norte	Média	0,1266	0,1286	0,1519	0,1308	0,1334	0,1239	0,1838
	Desvio padrão	0,0798	0,0782	0,0803	0,0900	0,0821	0,0866	0,1154
	Coefficiente de variação	1,5860	1,6439	1,8907	1,4531	1,6249	1,4308	1,5924
	Mínimo	0,0052	0,0217	0,0062	0,0175	0,0332	0,0143	0,0268
	Máximo	0,2857	0,2857	0,2857	0,2857	0,2857	0,2857	0,4366
Sul	Média	0,1011	0,1102	0,1204	0,1013	0,0912	0,1092	0,1327
	Desvio padrão	0,0743	0,0621	0,0613	0,0649	0,0636	0,0677	0,0971
	Coefficiente de variação	1,3609	1,7757	1,9620	1,5619	1,4326	1,6144	1,3665
	Mínimo	0,0138	0,0357	0,0065	0,0020	0,0124	0,0138	0,0154
	Máximo	0,2014	0,2043	0,2066	0,2144	0,2185	0,2305	0,3307
Leste	Média	0,0404	0,0346	0,0473	0,0446	0,0539	0,0674	0,0540
	Desvio padrão	0,0679	0,0564	0,0690	0,0597	0,0625	0,0583	0,0456
	Coefficiente de variação	0,5955	0,6134	0,6856	0,7468	0,8622	1,1563	1,1858
	Mínimo	0,0004	0,0017	0,0019	0,0017	0,0010	0,0046	0,0111
	Máximo	0,2122	0,1753	0,2172	0,1714	0,1857	0,1772	0,1848
Oeste	Média	0,1205	0,1376	0,1396	0,1283	0,1418	0,1713	0,1418
	Desvio padrão	0,0854	0,0921	0,1054	0,0608	0,0850	0,1060	0,0578
	Coefficiente de variação	1,4123	1,4940	1,3251	2,1119	1,6693	1,6158	2,4550
	Mínimo	0,0227	0,0052	0,0245	0,0337	0,0190	0,0175	0,0179
	Máximo	0,2635	0,2857	0,3117	0,2732	0,2554	0,2917	0,2211

Figura 10 - Índice de Degradação médio para cada andar

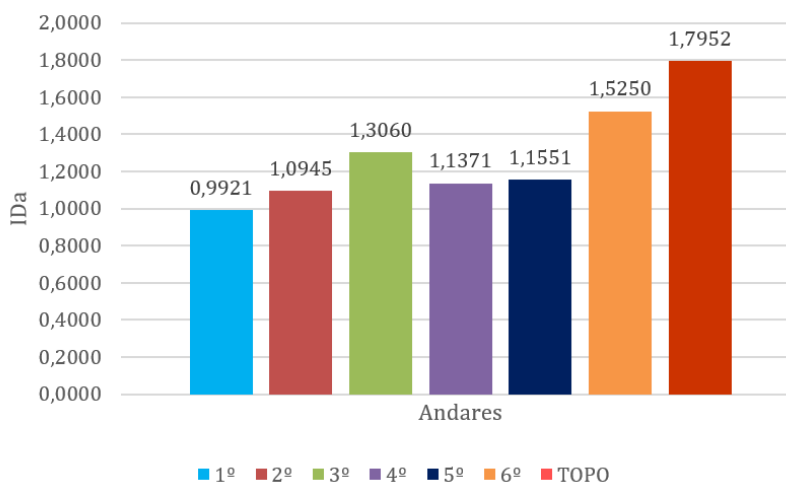


Tabela 4 - Índice de degradação do andar por orientação

Orientação	1º	2º	3º	4º	5º	6º	TOPO
Norte	1,2293	1,2392	1,5505	1,2317	1,3137	1,3885	1,8445
Sul	1,1323	1,5040	1,7006	1,2244	1,1424	1,4010	1,7258
Leste	0,6155	0,4761	0,7458	0,8965	1,1078	2,0897	2,2074
Oeste	0,9247	1,0317	1,0487	1,1784	1,0144	1,1719	1,2914

A Figura 11 apresenta os resultados médios do IDa obtidos para cada andar e por orientação cardinal. A análise dessa figura permite observar uma tendência crescente do IDa em função da altura. Sexto andar e topo apresentaram valores de IDa maiores, evidenciando a degradação desses andares em relação as amostras, principalmente para a orientação Leste. Andares mais baixos como primeiro, apresentaram os menores valores para o IDa, com valores mínimos para a orientação Leste. Para as orientações Norte e Sul, observa-se um aumento também da média de degradação para o terceiro andar.

O estudo da variabilidade da degradação ao longo das áreas da fachada traz resultados que auxiliam no entendimento e na busca de variáveis condicionantes do processo de degradação. A partir dos índices FGDa e IDa, verifica-se variabilidade da degradação entre os andares das fachadas. O topo é aquele com níveis mais altos de degradação e com maiores dispersões em relação aos outros andares. Pelo Índice de Degradação do Andar, observa-se que o nível de degradação de alguns andares é maior em relação a da sua amostra, como ocorre na maioria dos casos para o sexto andar e topo.

A maior incidência de chuva é observada no topo dos edifícios, levando a maiores variações térmicas, bem como se tornam áreas mais propensas a infiltrações de água, manchas e eflorescências (Bauer *et al.*, 2015; Souza *et al.*, 2016). Para o topo, há também deformações estruturais devido a incidência de radiação solar na cobertura. Essas regiões também estão mais expostas à chuva torrencial, que, associada a falhas e desprendimentos de juntas, pode aumentar a evolução e a ocorrência de mais anomalias (Bauer; Souza, 2022; Wetzel *et al.*, 2012).

Piazzarollo (2019) constatou variabilidade da degradação nas diferentes zonas de fachadas com revestimento cerâmico. Silvestre e de Brito (2009) indicaram que são inúmeros os fatores que podem estar relacionados a degradação das fachadas, como erros de projetos e erros de execução. Observando os valores médios de IDa para cada andar dessa pesquisa, verifica-se que a variação da degradação também pode estar relacionada com as diferentes posições da fachada.

Análise estatística da variabilidade entre andares

Para estudo da variabilidade, ferramentas estatísticas, como Análise da Variância (ANOVA), são utilizadas, utilizando os valores de IDa para todos os andares (7 grupos) e todas as 65 amostras utilizadas no trabalho. A Tabela 5 apresenta um resumo com a média e variância de cada grupo e a Tabela 6 os dados gerais obtidos com a ANOVA.

Constata-se por meio do Teste-F que há variabilidade entre os andares do edifício com um nível de significância igual a 0,05, pois o valor de Fcalculado é maior que o Fcrítico, ou seja, rejeita-se a hipótese de médias iguais entre os grupos com 95% de confiabilidade, indicando a variabilidade entre eles. Por meio do teste T-student, são identificados os grupos de andares que variam entre si (Tabela 7). As combinações de andares que apresentam variações estatisticamente significativas estão assinaladas com um “V”. Aquelas combinações que os quadrados encontram vazios indicam que não há variabilidade entre os dois andares.

De forma geral, observa-se que a degradação dos andares localizados na posição mais inferior, não se diferenciam entre si e não há variação em relação aos andares do Centro da fachada. Já os andares superiores, sexto e topo, apresentam variabilidade com quase todos os outros andares. Sexto andar é o único que não apresenta variabilidade com o topo.

As anomalias despontam nos andares que apresentam maior exposição aos agentes. Avaliações similares associadas à inspeção, classificação, compreensão e diagnóstico de degradação que ocorrem em sistemas de revestimento cerâmico também são apresentadas por Gaião, de Brito e Silvestre (2012) e Magos *et al.* (2016). Portanto, os resultados corroboram a importância de considerar a altura e a exposição vertical ao avaliar a degradação das fachadas de edifícios, bem como para adotar estratégias de projeto, execução e manutenção.

Figura 11 - Índice de degradação do andar por Orientação

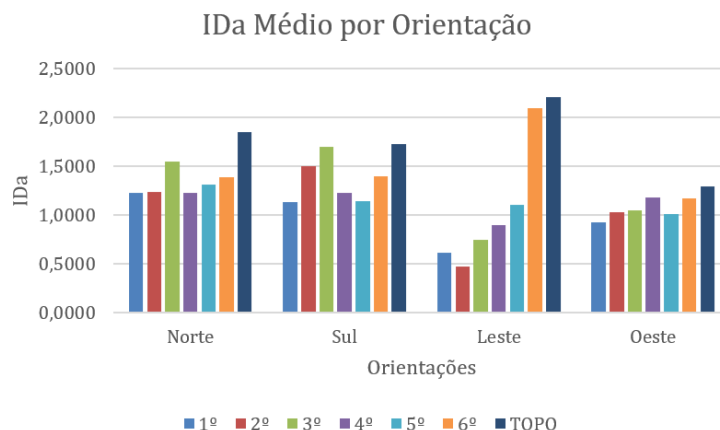


Tabela 5 - Medidas de dispersão entre andares

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
1º	65	64,4875	0,9921	0,5502
2º	65	71,1443	1,0945	0,5307
3º	65	84,8880	1,3060	0,8796
4º	65	73,9106	1,1371	0,7112
5º	65	75,0783	1,1551	0,4685
6º	65	99,1239	1,5250	1,2522
Topo	65	116,6863	1,7952	1,1925

Tabela 6 - ANOVA para andares

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	31,14287	6	5,190478	6,505698	1,35E-06	2,118812
Dentro dos grupos	357,4304	448	0,797836	-	-	-
Total	388,5733	454	-	-	-	-

Tabela 7 - Variabilidade entre andares

Andar	1	2	3	4	5	6	Topo
1	-	-	V			V	V
2		-				V	V
3	V		-				V
4				-		V	V
5					-	V	V
6	V	V		V	V	-	
Topo	V	V	V	V	V		-

Análise da variabilidade da degradação por andar de acordo com a fase de degradação

As amostras foram segmentadas em dois grupos, iniciação e propagação, com base no valor de FGD da amostra, para a análise separada da variabilidade entre andares para cada fase de degradação. Os resultados indicam que há variabilidade entre os andares apenas para a fase de iniciação, conforme Tabela 8. O valor de $F_{calculado}$ é maior que o de $F_{crítico}$ e o p-valor é bem menor que 0,05, rejeitando a hipótese H_0 de médias iguais com 95% de confiabilidade e comprovando que as médias dos andares para as amostras que se encontram na fase de iniciação não são iguais. Para a fase de propagação as médias são iguais e não há variabilidade da degradação por andar, considerando um nível de significância igual a 0,05.

Por meio do Teste t-student, verifica-se na Tabela 9 as combinações onde há variabilidade entre andares para a fase de Iniciação. Verifica-se que do primeiro ao quinto andar, há variabilidade em relação ao sexto andar e topo. O único andar que não apresenta diferença significativa com o topo é o sexto andar.

Tabela 8 - ANOVA entres andares e por fase de degradação

Fases	F	valor-P	F crítico
Iniciação	7,390855	6,34E-07	2,160778
Propagação	1,099631	0,362544	2,129473

Tabela 9 - Variabilidade entre andares para a fase de iniciação

Andar	1	2	3	4	5	6	Topo
1	-					V	V
2		-				V	V
3			-			V	V
4				-		V	V
5					-	V	V
6	V	V		V	V	-	
Topo	V	V	V	V	V		-

Verifica-se que na fase de iniciação, a degradação começa de forma leve, pontual e pode atingir áreas específicas da fachada, logo a variabilidade da degradação por andar nesta fase é alta, com possibilidade de ser encontrar anomalias localizadas em apenas alguma posição ou zona da fachada (Bauer; de Souza; Piazzarollo, 2020). Já na fase de propagação, se observa degradação generalizada em toda extensão da fachada, refletindo nos resultados opostos, ou seja, não há variabilidade da degradação, porém, observa-se valores mais altos para os índices que representam a degradação das fachadas.

De forma complementar, observa-se que as amostras de edifícios mais novos estão classificadas na fase de iniciação e dos edifícios mais velhos na fase de propagação. Nesta última fase há efeito sinérgico entre os agentes e entre as próprias anomalias, intensificando de forma mais rápida o processo de degradação (Pereira; de Brito; Silvestre, 2018).

Os resultados para as análises da degradação por andar da fachada mostram predominância do topo como andar mais crítico à degradação e com maior variabilidade da degradação com outros andares. Esse destaque do topo ocorre para as fases de iniciação e propagação, e para todas as orientações. Há uma tendência de os valores médios de indicadores de degradação apresentar um aumento com a elevação dos andares (Rodrigues Neto; Bauer, 2022b).

A amostragem utilizada para a pesquisa possui um padrão e homogeneidade. Apesar de se identificar tendências de comportamentos, é necessário observar que essas associações podem ter suas particularidades. Aspectos de composição da base de dados como: investigação de campo, localização geográfica, clima e exposição a agentes de degradados, e mecanismos dominantes, influenciam nas pesquisas. Comparações entre base de dados e índices muito diferentes podem levar a resultados que não refletem a realidade da degradação observada (Souza *et al.*, 2018). Parâmetros importantes de uma base de dados pode não ser significativa em outra base de dados, dessa forma, os resultados expostos para Brasília, poderiam ter respostas diferentes em outros locais (Ferreira *et al.*, 2021b).

Conclusões

A partir da pesquisa apresentada, as conclusões relevantes para o estudo da degradação de fachadas em revestimento cerâmico podem ser propostas. A degradação aumenta com a idade, e conforme o tempo passa, ocorre a aceleração da velocidade de degradação. Há variabilidade da degradação também em relação à orientação cardeal, visto que, essa variável está correlacionada à intensidade com que os agentes de degradação incidem sobre a fachada.

A degradação é diferenciada nas áreas que compõem a fachada. Na análise dos andares, se verifica que o topo é o mais crítico, sendo a área mais degradada. Esta tendência acontece para todas as orientações cardeais.

Por meio de ferramentas estatísticas, se constata que há variabilidade da degradação entre andares com 95% de confiabilidade, e ela aumenta com a distância entre eles, assim, andares bem distantes um do outro, como primeiro e topo, apresentam maior variabilidade da degradação. Fachadas com degradação leve (na fase de iniciação) apresentam variação entre seus andares. Fachadas com altos níveis de degradação não apresentaram variabilidade entre andares, visto que, apresentam deterioração generalizada em toda a extensão da fachada.

Na investigação da degradação nos andares, verifica-se que o topo é o andar mais degradado para todas as orientações. Esse fator está relacionado com a maior incidência de agentes de degradação ambientais como chuva dirigida e radiação solar nessas áreas, bem como, maiores dificuldades de limpezas e manutenções. O primeiro andar apresentou os menores valores médios para o índice de degradação normalizados. Verificou-se que a orientação não foi determinante para a diferenciação da degradação nos andares.

As associações comportamentais e suas variabilidades apresentadas são contribuições que devem ser investigadas para projetos de novos edifícios e para estudos da vida útil e reabilitação de edifícios. A dispersão verificada destaca a necessidade de estudar e identificar os diversos fatores que controlam e são responsáveis pela degradação de fachada com revestimento cerâmico.

Referências

- ALMEIDA, M. *et al.* A new tilted strips external thermal insulation composite system (TiS-ETICS): description and performance assessment through thermal and energy simulation for a residential building. **Journal of Building Engineering**, v. 38, n. October 2020, 2021.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E632-82**: standard practice for developing accelerated tests to aid prediction of the service life of building components and materials. Philadelphia, 1996.
- ANDRADE, D. T.; BAUER, E.; SOUZA, J. Hygrothermal simulation applied to degradation modeling of ceramic facades. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 37, n. 1, p. 1–13, 2023.
- ANDRADE, D. T. de; KARDEC, T. I. S.; BAUER, E. Sinergia dos agentes higrotérmicos na degradação de fachadas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES, Fortaleza, 2021. **Anais [...]** Fortaleza, 2021.
- BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 119–137, jan./mar. 2021.
- BAUER, E. *et al.* Perfis de degradação de fachadas de edifícios em Brasília-Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 13. Lisboa, 2015. **Anais [...]**, Lisboa, 2015.
- 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.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K.; SILVA, M. N. B. Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico: estudo de caso de edifícios de Brasília. **Cerâmica**, v. 61, n. 358, p. 151–159, 2015.
- BAUER, E.; 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.
- BAUER, E.; SOUZA, A. L. R. Failure patterns associated with facade zones and anomalies in the initiation and propagation of degradation. **Construction and Building Materials**, v. 347, n. June, p. 128563, 2022.
- BAUER, E.; SOUZA, J. S.; MOTA, L. M. G. Degradação de fachadas revestidas em argamassas nos edifícios de Brasília, Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 23–43, out./dez. 2021.
- BOCHEN, J.; NOWOŚWIAT, A. Service life assessment of renders on the basis of changes of physical and mechanical properties during simulated weathering. **Construction and Building Materials**, v. 229, 2019.
- BORDALO, R. *et al.* Service life prediction modelling of adhesive ceramic tiling systems. **Building Research and Information**, v. 39, n. 1, p. 66–78, 2011.
- BRASIL, G.; ZANONI, V. Mapa de danos de edifícios modernos: Proposta para representação gráfica do estado de conservação de fachadas em concreto aparente. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BUILDING PATHOLOGY AND CONSTRUCTIONS REPAIR, 14., Florence, 2018. **Proceedings [...]** Florence, 2018.
- BUILDING COST INFORMATION SERVICE. **Life expectancy of buildings components, surveyor's experiences of building in use**: a practical guide. Londres, 2001.
- 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**, v. 39, n. August 2020, 2021.

- CARRETERO-AYUSO, M. J.; MORENO-CANSADO, A.; GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J. Influence of climate conditions on deficiencies of building roofs. **Applied Sciences**, v. 9, n. 7, 2019.
- CARRETERO-AYUSO, M. J.; SÁEZ-PÉREZ, M. P. Construction flaws in facing brick facades and the risk of associated litigation. **Journal of Building Engineering**, v. 33, n. October 2019, 2021.
- CASTRO, W. *et al.* Mapping the risk of occurrence of defects in façades with ceramic claddings. **Buildings**, v. 13, 1209, 2023.
- COIAS, V. **Inspecções e ensaios na reabilitação de edifícios**. 2. ed. Lisboa: Editora IST Press, 2007.
- COLEN, I. dos S. F. B. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. Lisboa, 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- COSTA, M. S. **Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica**. Brasília, 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- FERREIRA, C. *et al.* Impact of environmental exposure conditions on the maintenance of facades' claddings. **Buildings**, v. 11, n. 4, p. 1–31, 2021a.
- FERREIRA, C. *et al.* Stochastic Petri-net models to predict the degradation of ceramic claddings. **Building Research and Information**, v. 47, n. 6, p. 697–715, 2019.
- 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 2020, p. 101571, 2021b.
- GAIÃO, C.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Tabiques de yeso laminado: Inspección, caracterización patológica y estudio estadístico mediante un sistema experto. **Materiales de Construccion**, v. 62, n. 306, p. 285–297, 2012.
- GALBUSERA, M. M.; BRITO, J. de; SILVA, A. The importance of the quality of sampling in service life prediction. **Construction and Building Materials**, v. 66, p. 19–29, 2014.
- GASPAR, P. L. End of the service life of ceramic cladding: lessons from the Girasol Building in Madrid. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 31, n. 2, 2017.
- GASPAR, P. L.; BRITO, J. Service life estimation of cement-rendered facades. **Building Research and Information**, v. 36, n. 1, p. 44–55, 2008.
- MACIEL, A. A. **Projeto bioclimático em Brasília: estudo de caso em edifício de escritórios**. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- MAGOS, M. *et al.* Application of the factor method to the prediction of the service life of external paint finishes on facades. **Materials and Structures**, v. 49, n. 12, p. 5209–5225, 2016.
- MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios**. Brasília, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- PACHECO, C. P.; VIEIRA, G. L. Análise quantitativa e qualitativa da degradação das fachadas com revestimento cerâmico. **Cerâmica**, v. 63, n. 368, p. 432–445, 2017.
- PEDROSO, M. *et al.* Characterisation of a multilayer external wall thermal insulation system. Application in a Mediterranean climate. **Journal of Building Engineering**, v. 30, n. February, 2020.
- PEREIRA, C. *et al.* Atlas of defects within a global building inspection system. **Applied Sciences**, v. 10, n. 17, 2020.
- PEREIRA, C.; BRITO, J.; SILVESTRE, J. D. Contribution of humidity to the degradation of façade claddings in current buildings. **Engineering Failure Analysis**, v. 90, n. March, p. 103–115, 2018.
- PIAZZAROLLO, C. B. **Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada**. Brasília, 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

- PRIETO, A. J.; SILVA, A. Service life prediction and environmental exposure conditions of timber claddings in South Chile. **Building Research and Information**, v. 48, n. 2, p. 191–206, 2020.
- RAMOS, A. L.; BAUER, E. Estudo da ação de agentes de degradação de fachadas associados à temperatura e a chuva dirigida em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras. **Revista ALCONPAT**, v. 12, n. 2, p. 248–262, 2022.
- RODRIGUES NETO, E.; BAUER, E. Buildings investigation of degradation variability in Brasília City. **Rehabend**, n. January, p. 682–689, 2022a.
- RODRIGUES NETO, E.; BAUER, E. Diferenciação da degradação ao longo das fachadas de edifícios. **Patrimônio 4.0**, p. 188–199, abr. 2022b.
- RUIZ, R. D. B. *et al.* Processamento digital de imagens para detecção automática de fissuras em revestimentos cerâmicos de edifícios. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 139–147, jan./mar. 2021.
- SANTOS, D. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios**. Brasília, 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- SANTOS, D. G. *et al.* Mensuração e distribuição de patologias na degradação em argamassa. **Gestão e Gerenciamento**, v. 8, n. 8, p. 12-18, abr. 2018.
- SHOHET, I. M.; PACIUK, M. Service life prediction of exterior cladding components under standard conditions. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 10, p. 1081-1090, 2004.
- SILVA, A.; BRITO, J.; GASPAS, P. L. **Methodologies for service life prediction of buildings: with a focus on façade claddings**. Lisboa: Springer, 2016.
- SILVA, A.; BRITO, J.; GASPAS, P. L. A comparative multi-criteria decision analysis of service life prediction methodologies for rendered façades. **Journal of Building Engineering**, v. 20, n. May, p. 476–487, 2018.
- SILVA, A.; BRITO, J.; GASPAS, P. L. Application of the factor method to maintenance decision support for stone cladding. **Automation in Construction**, v. 22, p. 165–174, 2012.
- SILVA, M. de N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada: aplicação ao caso de Brasília/DF**. Brasília, 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- SILVESTRE, J. D.; BRITO, J. Ceramic tiling inspection system. **Construction and Building Materials**, v. 23, n. 2, p. 653–668, 2009.
- SILVESTRE, J. D.; SILVA, A.; 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.
- SNEDECOR, G. W.; COCHRAN, W. **Statistical methods**. Iowa: Iowa State University Press, 1989.
- SOUZA, A. L. R. de *et al.* Classification of building facades by means of the level of protection criteria. **Rehabend**, n. January, p. 643–654, 2022.
- 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.
- SOUZA, J. *et al.* 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, 2020.
- 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.
- SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas: dfeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. Brasília, 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. Brasília, 2019. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) – Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SOUZA, J. S.; BAUER, E. Estado limite de degradação de fachadas revestidas em cerâmicas. In: Congresso INTERNACIONAL NA “RECUPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E RESTAURAÇÃO DE EDIFÍCIOS”, 5, Rio de Janeiro, 2020. **Anais [...]** Rio de Janeiro, 2020.

SOUZA, J.; BAUER, E. Degradation pattern for the envelope of buildings: study of region’s facade. In: XII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas (XII International Conference on Structural Repair and rehabilitation), Porto, edição 12. p. 1–11, Porto, 2016.

SOUZA, J.; PIAZZAROLLO, C.; BAUER, E. Aplicação do método de mensuração de degradação em revestimentos de fachadas. In: WORKSHOP DE TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2., Porto Alegre: ANTAC, 2019. **Anais [...]** Porto Alegre, 2019.

WETZEL, A. *et al.* Influence of shrinkage and water transport mechanisms on microstructure and crack formation of tile adhesive mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 42, n. 1, p. 39–50, 2012.

YIU, C. Y.; HO, D. C. W.; LO, S. M. Weathering effects on external wall tiling systems. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 3, p. 594–600, 2007.

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

ZURBRIGGEN, R.; HERWEGH, M. Daily and seasonal thermal stresses in tilings: a field survey combined with numeric modeling. **Materials and Structures/Materiaux et Constructions**, v. 49, n. 5, p. 1917–1933, 2016.

Maykon Vieira Silva

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Recebimento de financiamento, Pesquisa, Metodologia, Design da apresentação de dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | Universidade de Brasília | Campus Darcy Ribeiro, Anexo SG12, Asa Norte | Brasília - DF - Brasil | CEP 70910-900 | Tel.: (61) 98148-9042 | E-mail: eng.maykonsilva@gmail.com

Elton Bauer

Conceitualização, Curadoria de dados, Análise de dados, Metodologia, Administração do projeto, Disponibilização de ferramentas, Supervisão, Validação de dados e experimentos, Redação - revisão e edição.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental | Universidade de Brasília | Tel.: (61) 99136-4741 | E-mail: elbauerlem@gmail.com

Editores: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros e Eduardo Pereira**

Ambiente Construído

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido

www.scielo.br/ac

E-mail: ambienteconstruido@ufrgs.br



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.