ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS REVESTIDAS DE ARGAMASSA UTILIZANDO AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)

Tema: Desempenho de sistemas de revestimento.
Grupo: 1

MELISSA L. F. LOPES[1], ANA L. R. SOUZA[2], MATHEUS DE SOUZA[3], LENILDO S. SILVA[4], ELTON BAUER[5]

[1]Mestranda, Universidade de Brasília/UnB, melissafrazao8@gmail.com
[2]Doutoranda, Universidade de Brasília/UnB, luiza31souza@gmail.com
[3]Mestrando, Universidade de Brasília/UnB, matheus.engcv@outlook.com
[4]Prof. Dr., Universidade de Brasília/UnB, lenildo_s@hotmail.com
[5]Prof. Dr., Universidade de Brasília/UnB, elbauerlem@gmail.com

RESUMO

As fachadas podem apresentar uma grande deterioração, sendo fundamental o estudo da degradação desse sistema. O objetivo deste estudo é aplicar o uso de RPA para a inspeção e o mapeamento de danos de fachadas. São selecionadas quatro amostras de edificações em Brasília - DF, sendo realizada a captura de imagens com Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), a obtenção de ortomosaicos por processamento digital de imagens, o mapeamento de danos e a quantificação da degradação. Os ortomosaicos obtidos possuem excelente qualidade para a visualização de anomalias e o mapeamento de danos. Os resultados reforçam que o uso de RPA contribui para facilitar e aperfeiçoar o estudo da degradação de fachadas.

Palavras-chave: Degradação, fachada, inspeção, drone, mapa de danos.

STUDY OF MORTAR FACADES DEGRADATION USING REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (RPA)

ABSTRACT

Facades can present great deterioration, being fundamental the study of this system's degradation. The purpose of this study is to apply RPA for the inspection and damage mapping of facades. Four samples of buildings in Brasilia - DF are selected, capturing images with RPA, obtaining orthomosaics by digital image processing, mapping the damage and quantifying the degradation. The orthomosaics obtained are of excellent quality for visualization of anomalies and damage mapping. The results reinforce that the use of RPA contributes to facilitate and improve the study of facade degradation.

Key-words: Degradation, facade, inspection, drone, damage map.

1. INTRODUÇÃO

As fachadas auxiliam na proteção das edificações contra agentes externos de degradação e, por estarem mais expostas a eles, podem apresentar grande deterioração ao longo de sua vida útil[1–4]. A análise da ocorrência de anomalias em fachadas é essencial para a elaboração de estratégias para contribuir para a durabilidade desse sistema[5]. Assim, a inspeção é uma etapa fundamental no estudo da degradação, relacionando o estado dos componentes, a exposição ambiental e as condições de uso da edificação[6].

A inspeção é imprescindível para a elaboração de mapas de danos, que se caracterizam pela representação de anomalias em sua localização exata, sendo importantes para o registro do estado de conservação de uma edificação. Além disso, a quantificação e o mapeamento das anomalias permite detectar padrões e tendências de degradação[3].

O uso de Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft* – RPA), conhecida como drone, tem sido estudado para otimizar o processo de inspeção e de mapeamento[7,8]. Essa ferramenta permite a captura de imagens a partir de um ângulo de visão perpendicular ao longo de toda a fachada e a obtenção de ortomosaicos por processamento digital de imagens. Assim, o objetivo deste estudo é apresentar a aplicação do uso de RPA para a inspeção e o mapeamento de danos voltados ao estudo da degradação de fachadas.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL: MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Seleção de amostras de fachada

São selecionadas para o estudo quatro amostras de fachada com revestimento em argamassa, pertencentes a duas edificações localizadas em Brasília – DF, com 46 anos de idade. A seleção realizada leva em consideração que as amostras não podem apresentar obstáculos que impeçam o voo e o levantamento fotográfico com RPA.

2.2. Captura de imagens com RPA

Na captura de imagens de fachadas utilizando RPA, são atendidos os parâmetros apresentados na Tabela 1 e na Figura 1, para permitir um bom processamento e, assim, a obtenção de ortomosaicos de qualidade adequada para a visualização de anomalias[7,9–11]. Os ortomosaicos correspondem à junção de imagens associada à sua transformação em uma imagem em perspectiva ortogonal, sem características de profundidade e inclinação[12].

2.3. Processamento digital de imagens – Obtenção de ortomosaicos

Os ortomosaicos das amostras de fachada são obtidos por processamento digital de imagens, utilizado o *software* Agisoft Metashape, cujo princípio de funcionamento se baseia na correspondência estéreo densa (*Dense Stereo Matching* – DSM), que consiste na correlação automática de conjuntos de *pixels* homólogos em fotos distintas[7,10]. A sequência de ferramentas do *software* utilizadas e os produtos gerados até a obtenção dos ortomosaicos são apresentados na Figura 2.

Tabela 1 – Parâmetros para a captura de imagens com RPA.

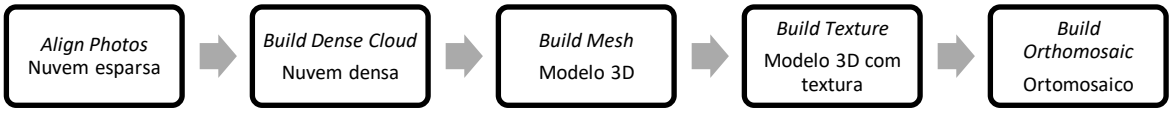
Parâmetro	Descrição	Parâmetro adotado
Posicionamento entre tomadas fotográficas	Paralelismo entre tomadas fotográficas e perpendicularidade ao plano da fachada (Figura 1)[9–11].	Paralelismo e perpendicularidade
Sobreposição (longitudinal e transversal) (p)	Acima de 60%, o que facilita a correção de erros no processamento das imagens[9–11].	70%
Distância até a fachada (L)	A menor possível, com o mínimo de 3 metros para a segurança do voo.	5 metros
Distância entre tomadas fotográficas (B)	$B = 2 \tan \frac{\alpha}{2} . L . (1 - \frac{p}{100})$, em que: α é o ângulo da abertura da lente da câmera (graus)[11–13].	B = 2,25 metros
Relação entre distâncias (B/L)	$0,1 < \frac{B}{L} < 0,5$, para melhor processamento das imagens[7,10,11].	B/L = 0,45
Sequência de captura	Direção paralela à maior dimensão da fachada[7].	Sequência vertical

Figura 1 – Posicionamento da aeronave para as tomadas fotográficas.



Fonte: LOPES; BAUER; SANTOS, 2022[14].

Figura 2 – Etapas do processamento digital de imagens.



Fonte: Autores.

2.4. Mapeamento de danos

Para realizar o mapeamento de danos, utiliza-se o *software* Autodesk AutoCAD, posicionando os ortomosaicos sobre os croquis das fachadas, para que as anomalias sejam representadas o mais próximo possível da posição em que se encontram. Ao

finalizar essa etapa, os ortomosaicos são removidos, e os mapas de danos são apresentados sobre os croquis das fachadas, permitindo uma visualização mais clara das anomalias. São consideradas as principais anomalias observadas em revestimentos de argamassa[2,3,15]: descolamento (DA), fissura (FA), mancha (MA), eflorescência (EA), pulverulência (PA) e anomalias na pintura (AP).

2.5. Quantificação da degradação

A quantificação da degradação das fachadas é feita pela sobreposição de uma malha de 0,50 m x 0,50 m sobre o mapa de danos, sendo contabilizadas as unidades de área para cada anomalia[16]. As amostras também são divididas nas zonas: sacadas (SC), topo (TO), aberturas (AB), transição de pavimentos (TP), cantos e extremidades (CE) e paredes contínuas (PC), permitindo verificar a degradação associada a cada região[17–19].

Por fim, são calculados indicadores que permitem analisar a incidência da degradação nas fachadas (Tabela 2). O Fator de Danos (FD) é utilizado para quantificar a degradação das amostras considerando todas as anomalias incidentes, o Fator de Danos da Anomalia (FD_a) permite identificar as anomalias mais incidentes e o Fator de Danos da Zona (FD_z) permite identificar as zonas mais afetadas.

Tabela 2 – Indicadores de degradação calculados.

Indicadores de degradação calculados	
$FD = \frac{\sum A_{an(n)}}{A_t}$	FD - Fator de Danos; $A_{an(n)}$ - Área danificada por uma anomalia n (m²); A_t - Área total da amostra de fachada (m²);
$FD_a = \frac{A_{da}}{A_t}$	FD_a - Fator de Danos da Anomalia; A_{da} - área degradada por determinada anomalia (m²).
$FD_z = \frac{A_{dz}}{A_t}$	FD_z - Fator de Danos da Zona; A_{dz} - área degradada em determinada zona (m²).

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

3.1. Ortomosaicos obtidos

A proximidade e o posicionamento da câmera durante o levantamento fotográfico com RPA permitem a obtenção de imagens de excelente qualidade, sendo possível visualizar as fachadas com um alto nível de detalhe, como também identificado em outros estudos[7,11,20]. As imagens também são aproximadamente perpendiculares à fachada. Como discutido por Groetelaars (2004) *apud* Costa (2014)[21], isso resulta em uma melhor qualidade e precisão na ortogonalização, reforçando a importância da utilização

de RPA no estudo da degradação. Os ortomosaicos obtidos por processamento digital de imagens também apresentam excelente qualidade, como exemplifica a Figura 3. Isso ocorre quando todos os parâmetros de captura de imagens são seguidos, ressaltando-se a importância de uma alta sobreposição para obter bons resultados, o que está de acordo com o estudo de outros autores[7,11,20].

3.2. Mapas de danos

Durante o mapeamento, percebeu-se a existência de mais de uma anomalia em uma mesma área, como pode ser visualizado no exemplo de mapa de danos apresentado na **Error! Reference source not found.**-a. Isso demanda um maior cuidado na identificação das anomalias, sendo necessário identificar uma de cada vez. Além disso, verifica-se a necessidade de estabelecer critérios para a identificação de cada anomalia, com as principais caraterísticas visuais a serem observadas, para facilitar e padronizar o processo de mapeamento. Também foi observado que os ortomosaicos utilizados permitem a representação das anomalias de forma suficientemente precisa quanto ao local em que se encontram na fachada, o que contribui para a quantificação da degradação.

Figura 3 – Exemplo de ortomosaico obtido, com zoom em detalhe.

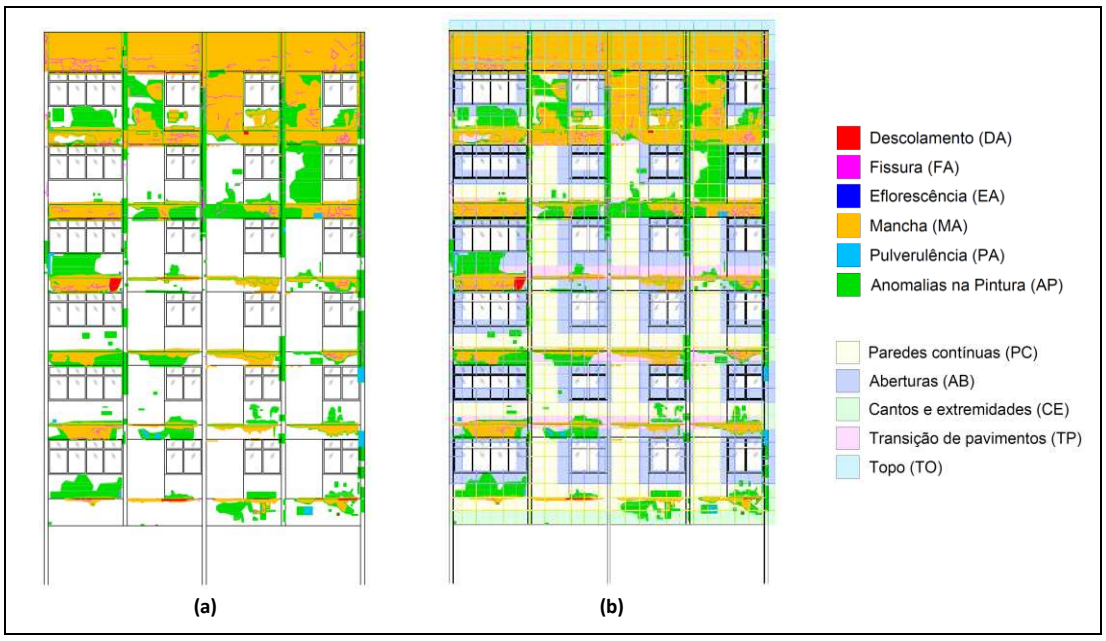


Fonte: Autores.

3.3. Quantificação da degradação

Ao realizar a quantificação da degradação, contabilizando as unidades de malha que apresentam cada anomalia em cada zona de fachada (**Error! Reference source not**

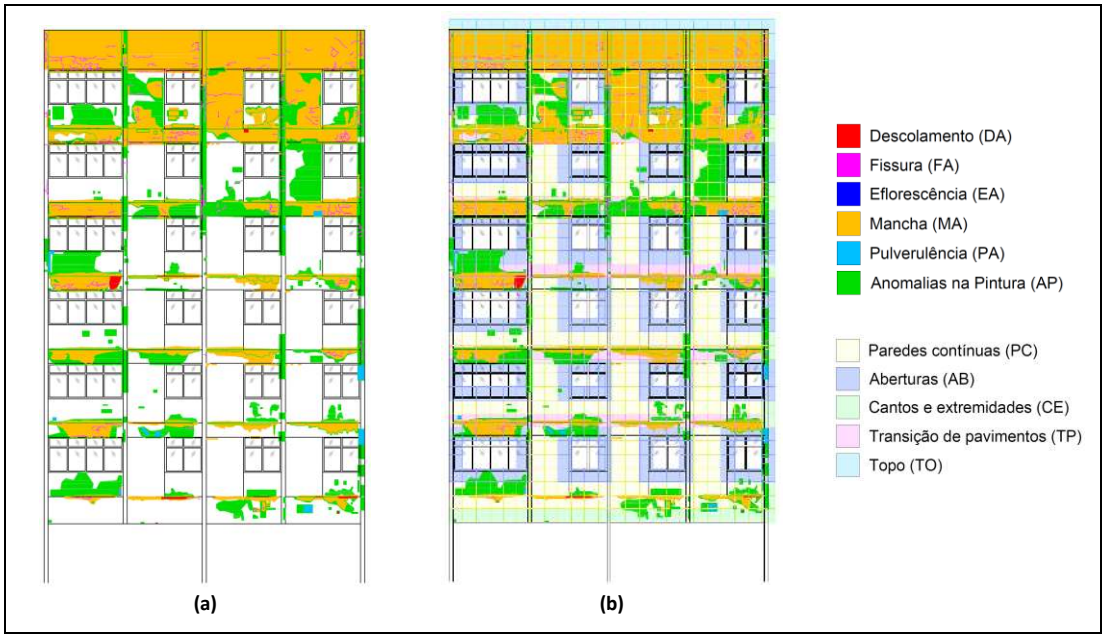
found.-b) e calculando os indicadores de degradação, são obtidos os resultados apresentados na Figura 4 – Exemplo de (a) mapa de danos e (b) sobreposição de malha com divisão em zonas.



Fonte: Autores.

Tabela 3. Observa-se que há uma predominância da ocorrência de anomalias na região de aberturas, seguida pelas zonas de paredes contínuas, transição de pavimentos e topo. Os cantos e extremidades são pouco afetados e não há a região de sacada nas amostras estudadas. Quanto às anomalias, verifica-se uma diferença entre as edificações. As amostras A1.1 e A1.2 possuem as manchas como principal anomalia, seguidas por fissuras. Já nas amostras A2.1 e A2.2 predominam as anomalias na pintura, seguidas por manchas e fissuras. Em ambas as edificações, o descolamento e a pulverulência são pouco observados e não foi detectada a presença de eflorescência em nenhuma delas.

Figura 4 – Exemplo de (a) mapa de danos e (b) sobreposição de malha com divisão em zonas.



Fonte: Autores.

Tabela 3 – Indicadores de degradação calculados.

Fator de Danos													
Amostra	Zona (FDz)						Anomalia (FDa)						Total (FD)
	PC	AB	SC	CE	TP	TO	D.A	F.A	E.A	M.A	P.A	A.P	
A1.1	0,21	0,27	0,00	0,01	0,15	0,13	0,04	0,14	0,00	0,58	0,01	0,00	0,77
A1.2	0,16	0,27	0,00	0,02	0,12	0,18	0,04	0,17	0,00	0,54	0,00	0,00	0,75
A2.1	0,36	0,47	0,00	0,05	0,34	0,20	0,02	0,23	0,00	0,50	0,02	0,66	1,42
A2.2	0,51	0,59	0,00	0,07	0,36	0,23	0,03	0,29	0,00	0,57	0,01	0,86	1,76
Média	**0,31**	**0,40**	**0,00**	**0,04**	**0,24**	**0,18**	**0,03**	**0,21**	**0,00**	**0,55**	**0,01**	**0,38**	**1,17**

4. CONCLUSÃO

Com o estudo realizado, observou-se que o uso de RPA permite a obtenção de imagens próximas e perpendiculares ao longo de toda a fachada, o que resulta em imagens de excelente qualidade. O uso de processamento digital de imagens também é eficiente para obtenção de ortomosaicos de qualidade extremamente satisfatória para a visualização de anomalias e para a elaboração de mapas de danos, desde que sejam seguidos os parâmetros necessários para a captura de imagens. Isso reforça que o uso dessa ferramenta contribui para facilitar e aperfeiçoar o estudo da degradação de fachadas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SANTOS, D. G. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios.** 136 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.

2. SOUZA, J. S. **Impacto dos fatores de degradação sobre a vida útil de fachadas de edifícios**. 139 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019.

3. 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.

4. BAUER, E.; PIAZZAROLLO, C. B.; SOUZA, J. S.; SANTOS, D. G. Relative importance of pathologies in the severity of facade degradation. **Journal of Building Pathology and Rehabilitation**, [*s. l.*], v. 5, n. 7, 2020.

5. FLORES-COLEN, I. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva**. 487 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

6. BRITISH STANDARD INSTITUTION. **BS ISO 15686-2**: Buildings and constructed assets – Service life planning. Part 2: Service life prediction procedures. London: BSI, 2012.

7. BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JÚNIOR, 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.

8. FALORCA, J. F.; MIRALDES, J. P. N. D.; LANZINHA, J. C. G. New trends in visual inspection of buildings and structures: study for the use of drones. **Open Engineering**, [*s. l.*], v. 11, p. 734–743, 2021.

9. AMORIM, A. L.; SILVA, L. S.; CHRISTAKOU, E. D. Uso de VANTs em documentação arquitetônica. *In:* SEMINÁRIO NACIONAL DE DOCUMENTAÇÃO DO PATRIMÔNIO ARQUITETÔNICO COM O USO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS, 2., 2012, Belém. **Anais** [...]. Belém: Universidade Federal do Pará, 2012.

10. GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvens de pontos por fotografias. *In*: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 16., 2012. **Anais** [...]. Fortaleza: SIGRADI, 2012.

11. MELO JÚNIOR, C. M. **Metodologia para geração de mapas de danos de fachadas a partir de fotografias obtidas por veículo aéreo não tripulado e processamento digital de imagens**. 376 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

12. COELHO, L.; DE BRITO, J. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007.

13. RAKHA, T.; GORODETSKY, A. **Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: towards automated building inspection procedures using drones**. Automation in Construction, [*s. l.*], v. 93, p. 252-264, 2018.

14. SILVA, L. S.; ZANONI, V. A. G.; PAZOS, V. C.; SANTOS, L. M. A.; JUCÁ, T. R. P. **Fotogrametria com imagens adquiridas com drones: do plano de voo ao modelo 3D**. 1. ed. Brasília: LaSUS FAU: Editora da Universidade de Brasília - UnB, 2021.

15. LOPES, M. L. F.; BAUER, E.; SANTOS, L. S. Utilização de aeronave remotamente pilotada (RPA) para a inspeção e o mapeamento de danos. *In*: CONGRESSO CONSTRUÇÃO, 2022. **Anais** [...]. Brasília: Universidade de Brasília, 2022.

16. SANTOS, D. G.; MACÊDO, M. S. P. H.; SOUZA, J. S.; BAUER, E. **Mensuração e distribuição de patologias na degradação em argamassa**. *In*: CONFERÊNCIA SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS (PATORREB), 6., 2018, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

17. 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**, [*s. l.*], v. 12, p. 105–119, 2020.

18. PIAZZAROLLO, C. B. **Estudo da evolução e da gravidade da degradação nas diferentes zonas componentes da fachada**. 152 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2019.

19. SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

20. 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**, [*s. l.*], v. 347, p. 1–12, 2022.

21. RUIZ, R. D. B.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C.; ROCHA, J. H. A. Inspeção de fachadas com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT): estudo exploratório. **Revista ALCONPAT**, [*s. l.*], v. 11, n. 1, p. 88–104, 2021.

22. COSTA, M. S. **Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica**. 2014. 184 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.