UTILIZAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM INSPEÇÃO DE FACHADAS: IMPACTOS SOBRE OS AGENTES DA CADEIA PRODUTIVA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Tema: Manutenção, reabilitação e restauro.

Grupo: 2

GIOVANNI B. M. SCHIFFINI[1], RENAN P. ANDRADE[2], JONATHAN C. M. ZAPPILE[3], FRANCISCO F. CARDOSO[4], FLÁVIO L. MARANHÃO[5]

[1]Engenharia Civil – Universidade de São Paulo/USP, giovanni.schiffini@usp.br
[2]Engenharia Civil – Universidade de São Paulo/USP, renanandradep@outlook.com
[3]Engenharia Civil – Universidade de São Paulo/USP, jonathan.zappile@usp.br
[4]Prof. Dr., Escola Politécnica de São Paulo/USP, flavio.maranhao@usp.br
[5]Prof. Dr., Escola Politécnica de São Paulo/USP, francisco.cardoso@usp.br

RESUMO

Este artigo descreve o estado-da-arte da utilização de algoritmos de inteligência artificial para a análise de filmagens de fachadas de edificações efetuadas por veículos aéreos não tripulados, também conhecidos como VANT ou drones, para fins de inspeção periódica das condições da fachada. Efetua-se uma breve descrição do processo de aquisição de imagens, treinamento do algoritmo para detecção automática de patologias de interesse e emissão de relatórios personalizados. A seguir, são analisados os aspectos da cadeia produtiva de operação e manutenção das edificações no Brasil e os impactos da utilização de inspeções automatizadas sobre os agentes desta cadeia: proprietários ou gestores da edificação, consultores de engenharia, prestadores de serviço de inspeção de fachadas e profissionais de tecnologia da informação que serão afetados por esta nova demanda.

Palavras-chave: Cadeia Produtiva, Inspeção de Fachadas, Inteligência Artificial, Operação e Manutenção.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN FACADE INSPECTION: IMPACTS ON AGENTS IN THE BUILDING O&M PRODUCTION CHAIN

ABSTRACT

This article describes the state-of-the-art use of artificial intelligence algorithms for the analysis of building facades footage taken by unmanned aerial vehicles, also known as UAVs or drones, for the purpose of

periodically inspecting the conditions of the facade. A brief description is made regarding the image acquisition process, training of the algorithm for automatic detection of pathologies of interest and issuing of personalized reports. Next, aspects of the buildings operation and maintenance productive chain in Brazil are analyzed and the impacts of the use of automated inspections on the agents of this chain: building owners or managers, engineering consultants, facade inspection service providers and information technology professionals who will be affected by this new demand.

Key-words: Production Chain, Facade Inspection, Artificial Intelligence, Operation and Maintenance.

1. INTRODUÇÃO

A inspeção de fachadas em edifícios é realizada, durante décadas, por meio de rapel ou balancins, em um processo as vezes lento e custoso. A utilização de drones para esta tarefa ganhou destaque nos últimos anos[1,2], especialmente com o advento das microcâmeras de altíssima resolução, devido a capacidade de identificar manifestações patológicas da fachada de edifícios através da aquisição de imagens oriundas de frames da inspeção[3, 4]. Contudo, após a realização da vistoria *in loco* através da filmagem da fachada, a próxima etapa consiste na detecção e classificação manual de todas as ocorrências identificadas mediante a observação de todos os frames do vídeo ou coleta de fotografias da inspeção. Portanto, há uma importante oportunidade para inovação tecnológica a partir da utilização de inteligência artificial para identificação de manifestações patológicas na fachada.

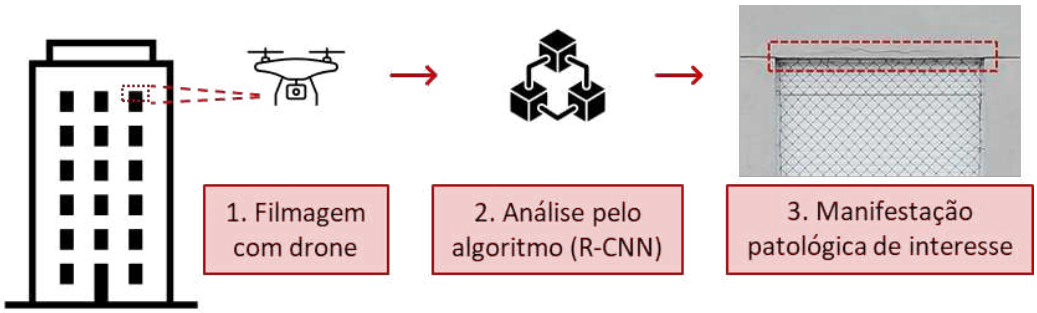
Neste âmbito, o desenvolvimento de um algoritmo de inteligência artificial que possibilite a avaliação dos dados da fachada coletados por drone através de vídeos pode gerar um impacto direto e positivo sobre os agentes da cadeia produtiva de operação e manutenção destes empreendimentos. Tal interferência pode otimizar o processo de mapeamento de manifestações patológicas trazendo melhorias para o processo de avaliação de fachadas, aumentando a adesão dos condomínios aos serviços de inspeção, uma vez que a otimização das análises pode viabilizar ainda mais os custos de inspeção por drone. Sendo assim, o presente trabalho objetiva discutir o impacto na cadeia produtiva de operação e manutenção de empreendimentos mediante a utilização de drones embarcados com câmera e detecção de manifestação patológica através de inteligência artificial.

2. FUNDAMENTAÇÃO

2.1. Algoritmo de inteligência artificial para visão computacional

Um algoritmo de inteligência artificial é composto por uma rede neural artificial (RNA), emulada via software e com funcionamento semelhante ao cérebro humano, no qual cada neurônio armazena uma informação e a transmite para os neurônios adjacentes[5]. Múltiplas arquiteturas de RNA existem, sendo as convolucionais as mais robustas para tarefas de detecção de objetos[6], possuindo tipicamente três estágios (R-CNN): (i) o primeiro para divisão da imagem em áreas menores, com o objetivo de aumentar a velocidade de análise, (ii) o segundo para detectar e segmentar objetos de interesse e o (iii) para efetivamente unir as partes de um mesmo objeto, assim possibilitando a detecção de objetos de interesse[7] (Figura 1).

Figura 1 – Detecção de objetos através de rede neural convolucional



Fonte: Autores (2023)

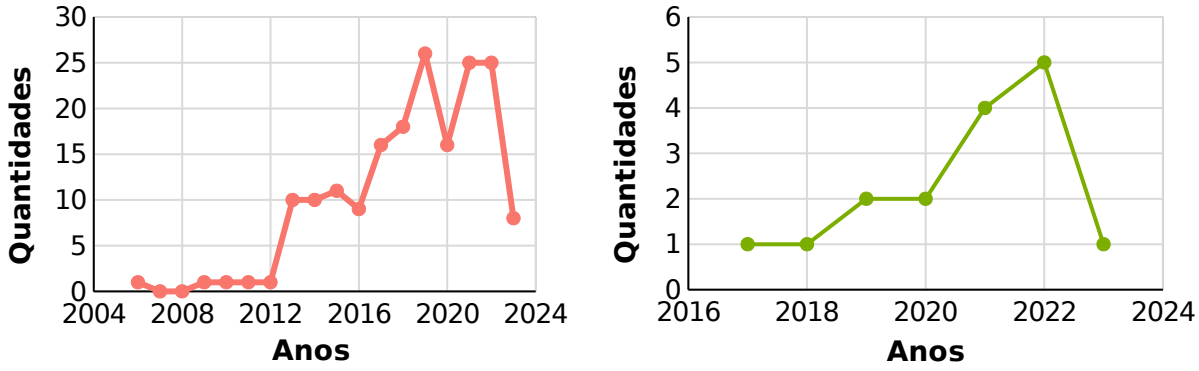
Para ensinar ao algoritmo quais são os objetos de interesse, as regiões da imagem que contém as manifestações patológicas serão marcadas em dezenas de milhares de fotografias obtidas previamente. Estas marcações farão a composição de um banco de dados denominado dataset[8]. A rede neural artificial é então “treinada” (machine learning) com estas ocorrências previamente marcadas. Após o treinamento, o algoritmo deve ser capaz de detectar automaticamente defeitos semelhantes em qualquer vídeo, de qualquer edificação. A partir deste momento, as filmagens realizadas por drone em qualquer fachada podem ser processadas pela rede neural artificial e as manifestações patológicas serão automaticamente detectadas[9, 10], classificadas e salvas em um banco de dados.

3. MÉTODO

O método utilizado para o presente estudo baseia-se na revisão bibliográfica de publicações e artigos sobre a cadeia produtiva de operação e manutenção de edificações no Brasil. Por meio da revisão, são apresentadas diversas configurações desta Cadeia Produtiva: (i) método tradicional de inspeção de fachada, (ii) inspeção de fachada através da utilização de drones com câmera embarcada, e; (iii) a inspeção de fachada através da utilização de drones com câmera embarcada utilizando algoritmos de inteligência artificial para verificação automática das filmagens.

Para fundamentar a presente pesquisa, utilizando a base indexada Scopus, foi possível verificar que a partir de 2013 há uma tendência crescente de publicações de inspeções de fachada com o uso de drones, totalizando 173 publicações até fevereiro de 2023[11]. O comportamento crescente de publicações evidencia um interesse da academia na aplicação prática desta tecnologia. Além disso, em 2017 verifica-se a primeira publicação de utilização de IA para detecção de danos em fachadas utilizando imagens provenientes de drones. Apesar de ainda apresentar uma quantidade baixa de publicações, com 15 publicações referente ao tema[12], trata-se de uma grande área a ser explorada (Figura 2).

Figura 2 – Volume de publicações de inspeções de fachada com o uso de drones (à esquerda) e de detecção de danos em fachadas utilizando IA e imagens provenientes de drones (à direita).



Fonte: Scopus [11,12]

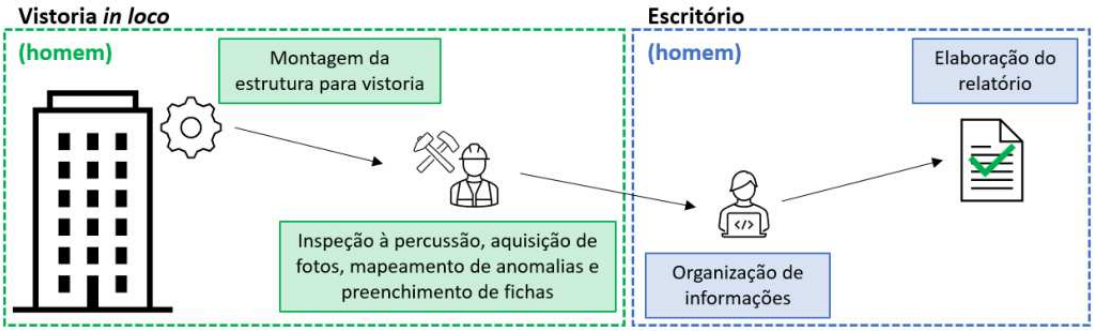
4. MAPEAMENTO DA CADEIA PRODUTIVA DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES

4.1. Método tradicional de Inspeção de fachada

A inspeção de fachadas à percussão é a principal técnica utilizada para inspeção há mais de 35 anos e tem se demonstrado amplamente aceita pelo mercado[13]. É realizada por um profissional munido de equipamentos para rapel e ferramentas para execução da inspeção propriamente dita. O método consiste na execução do ensaio à percussão, mapeamento dos locais onde há manifestação patológica na planta de elevação da fachada, marcação na própria fachada do empreendimento para auxiliar o processo de mapeamento e ainda o registro fotográfico das evidências (Figura 3).

Esta técnica, embora popular, exige profissionais certificados para trabalho em altura. São necessários operadores de balancins ou cadeirinhas, profissionais treinados para detecção e avaliação da anomalia com a utilização do método de percussão, além dos responsáveis pela transferência das informações das anomalias detectadas e mapeadas na fachada para a planta da elevação. Tendo em vista a série de atividades necessárias para execução da vistoria, podem ser necessárias semanas ou até meses para sua execução completa. Se trata de um procedimento demorado e com uma maior exposição a intempéries que podem prorrogar a sua execução.

Figura 3 – Fluxo de atividades de inspeção de fachadas à percussão



Fonte: Autores (2023)

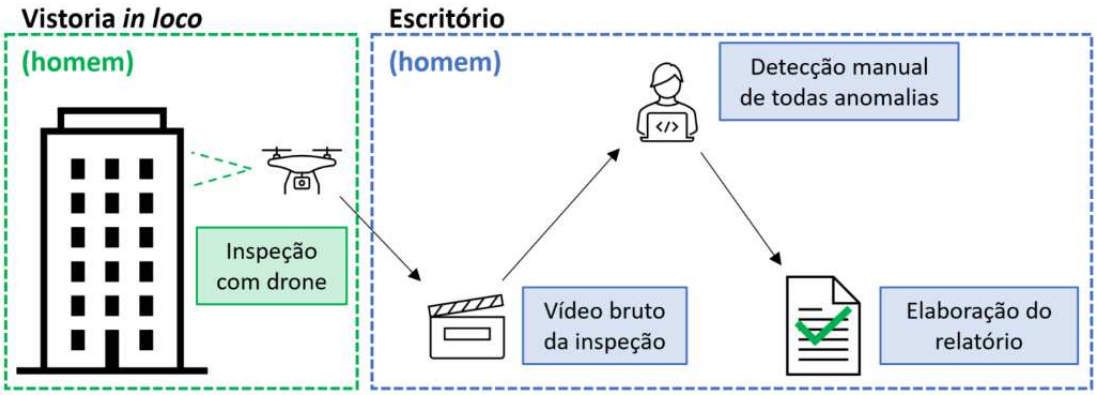
4.2. Inspeção de fachada através da utilização de drones com câmera embarcada

Com o advento de câmeras embarcadas em drones, criou-se uma oportunidade para aplicação desta inovação tecnológica para execução de inspeção de fachadas sem a necessidade de mobilizar equipamentos de rapel e o profissional habilitado responsável por percorrer fisicamente

toda a área da fachada para realização do mapeamento[3]. Desta forma, um colaborador no solo, devidamente treinado e habilitado, pode comandar remotamente a aeronave, filmando todos os pontos de interesse da fachada e prevendo locais para pouso e troca da bateria quando necessário[4].

Apesar do método ter possibilitado uma grande redução de tempo com a execução da vistoria in loco, ainda há uma longa etapa de organização e visualização das imagens obtidas pela filmagem da fachada frame a frame e por fim, a identificação da anomalia na fachada. Selecionadas todas as imagens que possuem anomalias bem como sua localização exata na fachada do empreendimento, o profissional elabora o mapeamento em planta das anomalias e o respectivo relatório de inspeção, conforme ilustrado na Figura 4. Esta última etapa possui grande margem para otimização através da utilização de algoritmos.

Figura 4 – Inspeção de fachada com a utilização de drone embarcado com câmera para filmagem



Fonte: Autores (2023)

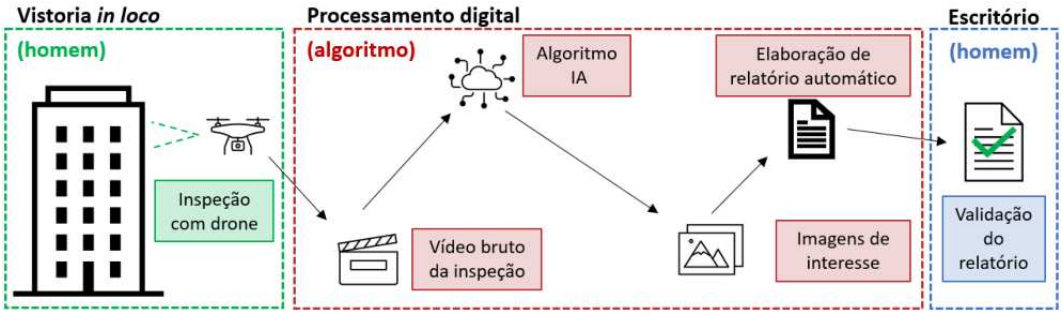
4.3. Utilização de algoritmos de inteligência artificial para classificação das imagens obtidas por drones

Com o intuito de otimizar o processo de detecção de anomalias e elaboração preliminar do relatório de inspeção, é possível utilizar algoritmos de inteligência artificial para analisar automaticamente os frames das filmagens oriundas do drone e produzir um relatório com as evidências fotográficas das manifestações patológicas, inclusive contendo as coordenadas geográficas de cada anomalia (GIS), para facilitar a sua localização na fachada da edificação[14]. Esta detecção das anomalias pode ultrapassar 90% de acurácia, diminuindo substancialmente a intervenção humana no processo de análise das imagens[15] (Figura 5).

Diversas manifestações patológicas podem ser encontradas automaticamente nas filmagens, através do treinamento adequado do algoritmo com imagens de exemplo. Entre as detecções possíveis, estão fissuras, descolamentos, descascamentos, eflorescência, mofo/bolor, entre outros[10]. Uma mesma imagem pode conter múltiplos objetos detectados simultaneamente[14], de modo que é criada uma "entrada" individual no banco de dados para cada objeto detectado no frame e cada um receba as devidas tratativas.

Neste cenário, a cadeia produtiva de operação e manutenção é significativamente alterada. A inserção de um novo processo automatizado no fluxo de inspeção possibilita a redução de hora homem em relação aos métodos supracitados, tornando-se um processo mais rápido. Cabe ressaltar que a análise final do relatório de inspeção de fachadas, bem como toda a tomada de decisão sobre as manutenções necessárias, continuam sendo uma incubência do agente humano, conforme descrito na Figura 5. O algoritmo atua somente no intuito de acelerar a captura e o processamento dos dados. Inclusive, avaliando a cadeia produtiva como um todo, a aplicação desta tecnologia promove a inclusão de novos agentes, como por exemplo profissionais e empresas especializados em Tecnologia da Informação.

Figura 5 – Inspeção da fachada com drone embarcado com câmera e processamento da filmagem com utilização de algoritmo de IA para detecção de anomalias



Fonte: Autores (2023)

No que tange à produção do algoritmo de inteligência artificial, um mercado totalmente novo se desdobra nesta cadeia produtiva. Para tal, serão necessários programadores e engenheiros de computação, profissionais que até recentemente possuíam pouco impacto na construção civil, trazendo maior interação entre as diversas áreas da engenharia. Adicionalmente, para proporcionar o "treinamento" do algoritmo, faz-se necessário a classificação manual de dezenas de milhares de imagens. Para tal, profissionais autônomos são necessários

para indicar qual manifestação patológica de interesse está presente em cada uma das imagens apresentadas.

Finalmente, as startups conhecidas como construtechs podem ingressar neste mercado, oferecendo soluções completas para análise, detecção de problemas e modelagem da edificação através de algoritmos. Entre os anos de 2014 e 2018 houve aumento de 330% na criação de construtechs no Brasil, porém somente 4% dessas empresas focam na operação e manutenção da construção após a conclusão da obra[16]. Trata-se de um nicho de mercado totalmente novo e que pode possuir um volume expressivo, tendo em vista a grande quantidade de edificações que não realiza as inspeções de fachada adequadamente conforme preconiza a NBR 5674[17, 18].

Entretanto, uma possível dificuldade para a expansão deste mercado é a baixa disponibilidade de programadores, pois outras aplicações dentro da engenharia civil também demandam estes profissionais, como realidade aumentada, modelagem, BIM, GIS, mapeamento de construções, laser scanning, utilização de sensores embarcados conectados (IoT), sensores vestíveis (wearables) e a integração entre estas tecnologias[19].

5. CONCLUSÕES

A digitalização da construção civil no Brasil é irreversível, à medida que estas tecnologias aumentam a competitividade e otimizam recursos. A cadeia produtiva de operação e manutenção de empreendimentos até então tem se apresentado um pouco resistente quanto à utilização de drones para inspeção de fachadas e por consequência processamento de imagens por inteligência artificial. Contudo, com algoritmos otimizando a etapa de processamento e classificação dos dados, este serviço pode se tornar mais abrangente e diminuir o risco de acidentes em muitos empreendimentos brasileiros. Resta saber se haverá profissionais de tecnologia da informação disponíveis para esta demanda, pois estes estão escassos em todas as áreas. Na própria construção civil, outras áreas de atuação como modelagem, sensores IoT e BIM representam uma “concorrência” ao emprego de profissionais de TI na produção de algoritmos e infraestrutura de servidores para as aplicações de inspeção de fachadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ESCHMANN, C.; KUO, C. M.; KUO, C. H.; BOLLER, C. Unmanned Aircraft Systems for Remote Building Inspection and Monitoring. Proceedings of the 6th European Workshop Structure Health Monitoring, v36, p. 13, 2012.

2. ANDRADE, R. et al. Estado da arte da utilização da técnica de termografia da técnica de termografia embarcada em drones para inspeção de revestimentos de fachadas. In: TECNOLOGIA DE PROCESSOS E SISTEMAS CONSTRUTIVOS, 2., São Paulo, 2019. Anais [...] São Paulo, 2019.

3. ANDRADE, R. P. Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Inovação na Construção Civil, 2020.

4. DIAS, I. S.; FLORES-COLEN, I.; SILVA, A. Critical Analysis about emerging technologies for building's façade inspection. Buildings, 11, 53, 2021.

5. DA SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A.; LIBONI, L.H.B.; ALVES, S.F. R. Artificial Neural Network Architectures and Training Processes. In: Artificial Neural Networks. Springer, 2017.

6. YANG, J.; LIN, F.; XIANG, Y.; KATRANUSCHKOV, P.; SCHERER, R. Fast Crack Detection Using Convolutional Neural Network. Technische Universität Dresden, Alemanha, 2021.

7. XU; Y.; LI; D.; XIE; Q.; WU; Q.; WANG; J. Automatic defect detection and segmentation of tunnel surface using modified Mask R-CNN. Measurement, v178, 2021.

8. BUSH, J.; CORRADI, T.; NINIC, J.; THERMOU, G.; BENNETTS, J. Deep Neural Networks for Visual Bridge Inspections and Defect Visualisation in Civil Engineering. In: 28th International Workshop on Intelligent Computing in Engineering, Alemanha, 2021.

9. RUIZ, R. D. B.; LORDSLEEM, A. C. J.; FERNANDES, B. J. T.; OLIVEIRA, S. C. Unmanned Aerial Vehicles and Digital Image Processing with Deep Learning for the Detection of Pathological Manifestations on Facades. In: Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. ICCCBE 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 98. Springer, Cham, 2021.

10. VALERO, E.; FORSTER, A.; BOSCHÉ, F.; HYSLOP, E.; WILSON, L.; TURMEL, A. Automated defect detection and classification in ashlar masonry walls using machine learning. Automation in Construction, v106, pp. 102846, 2019.

11. Elsevier, "Scopus. Analyze search results: uav AND facade," 2023. https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=concrete+maturity&sid=98a48c88d7bdf47cb6f10a24573f3437&sot=b&sdt=b&sl=32&s=TITLE-ABS-KEY%28uav+AND+facade

%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&featureToggles=FEATURE_DOCUMENT_RESULT_MICRO_UI%3A1&sessionSearchId=98a48c88d7bdf47cb6f10a24573f3437&limit=10 (accessed Feb. 06, 2023).

12. Elsevier, “Scopus. Analyze search results: uav AND facade AND deep,” 2023. https://www.scopus.com/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=concrete+maturity&sid=98a48c88d7bdf47cb6f10a24573f3437&sot=b&sdt=b&sl=32&s=TITLE-ABS-KEY%28uav+AND+facade+AND+deep%29&origin=searchbasic&editSaveSearch=&featureToggles=FEATURE_DOCUMENT_RESULT_MICRO_UI%3A1&sessionSearchId=98a48c88d7bdf47cb6f10a24573f3437&limit=10 (accessed Feb. 06, 2023).

13. CAMPANTE, E. F. Metodologia para diagnóstico de patologias em revestimentos cerâmicos de fachada. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado, s2001.

14. CHEN, K.; XU, X.; REICHARD, G.; AKANMU, A. An Integrated Computational GIS Platform for UAV-based Building Façade Inspection. Georgia Institute of Technology, EUA, 2021.

15. MASKELIŪNAS, R.; KATKEVIČIUS, A.; PLONIS, D.; SLEDEVIČ, T.; MEŠKĖNAS, A.; DAMAŠEVIČIUS, R. Building Façade Style Classification from UAV Imagery Using a Pareto-Optimized Deep Learning Network. Electronics, 11, 3450, 2022.

16. BETIATTO, P.; Perfil de inovação dos serviços ofertados por Construtechs brasileiras. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Graduação em Engenharia Civil, 2021.

17. MATTOS JR, A. S.; BRITTO, L. V. A.; SOUZA, I. F.; ALVES, O. A. A. D. Inspeção predial – Descompasso entre legislação e prática. XIX Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, Foz do Iguaçu (Brasil), pp. 1-28, 2017.

18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR-5674: Manutenção de Edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

19. BRITO, J. T. S.; Caracterização dos serviços 4.0 na construção civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Relatório Parcial de Iniciação Científica, 2021.