XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Aferição de obras habitacionais com o uso de RPAS/drones

Measurement of home buildings using RPAS/Drones

Henrique Leite Agostinho
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | henriqueleiteagostinho@yahoo.com.br
Sandra Haruna Hashizume
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | sandra.haruna@gmail.com
Hylton Olivieri
Instituto de Pesquisas Tecnológicas | São Paulo | Brasil | hylton.olivieri@gmail.com

Resumo
Alinhado a necessidade de governos, instituições financeiras e fundos imobiliários no acompanhamento da aplicação de recursos, o uso de Remotely Piloted Aircraft System (RPAS/Drone), pode proporcionar qualidade, redução de custo e ganho em escala em atividades relacionadas ao acompanhamento do desenvolvimento habitacional e suas garantias constituídas. Aplicando o método indutivo a um orçamento parametrizado de base SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção), o objetivo do trabalho é a proposição de um modelo de acompanhamento com o uso da ferramenta RPAS e sua aplicação na inteligência imobiliária. Os resultados obtidos identificam grande potencial de uso da tecnologia, principalmente quando associada a outras técnicas complementares ao acompanhamento.

Palavras-chave: Automação, construção civil, fiscalização, *RPAS*.

Abstract
Aligned with the need of governments, institutions and real estate funds in monitoring the application of resources and enabling minimal interference in the monitoring of works, the use of Remotely Pilot Aircraft System (RPAS / Drone), can provide quality, cost reduction and gains in scale in activities related to monitoring housing development and its guarantees. Applying the inductive method to a parameterized budget based on SINAPI (National Research System for Construction Costs and Indexes), the objective of the work is to propose a monitoring model using the RPAS tool and its application in real estate intelligence. The results obtained identify great potential for using the technology, especially when associated with other complementary techniques to follow-up.

Keywords: *Automation, Civil Construction, Inspection, RPAS*.

Como citar:
AGOSTINHO, H. L.; HASHIZUME, S. H.; OLIVIERI, H. Aferição de obras habitacionais com o uso de RPAS/Drones. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-10.

INTRODUÇÃO

Imprescindível na execução de contratos públicos ou privados, o acompanhamento de obras é parte fundamental do sucesso na conclusão do empreendimento objeto da contratação. Mesmo dentro da administração pública, subsídios para realização desta atividade podem ser obtidos através da contratação de terceiros [1]. Dentre irregularidades apresentadas pelo Tribunal de Contas da União (TCU), o pagamento de serviços não efetivamente executados e inconsistências/incoerências nos relatórios de fiscalização, são algumas das principais falhas da fase de produção da obra que podem ser mitigadas com o auxílio da utilização de *RPAS*/Drone [2].

Na construção civil, o uso de *Remotely Piloted Aircraft System* / Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (*RPAS*/Drone) vem sendo estudado com finalidade ampla, associado a diversas tecnologias embarcadas - câmeras visuais, térmicas, scanners e RFID [3] [4] [5], com uso inclusive em áreas internas da construção [6]. A ampla finalidade e possibilidades do uso de *RPAS* é identificada em estudos relacionados ao gerenciamento de obras de arte/pontes [7], obras de saneamento básico [8], execução de pavimentação de estradas [9], auxílio no cálculo de volumes de terraplenagem [10], estabilidade de escavações [11], processo de cura do concreto [12], tecnologias de rastreamento de materiais no canteiro de obras [13], inspeção de fachada de edificações [14], segurança no canteiro de obras [15] e riscos associados ao uso do *RPAS* no canteiro de obra [16].

Associado a outras tecnologias, como por exemplo o *Building Information Modeling* - BIM, estudos propondo a utilização de Realidades Mistas (ou *Mixed Reality* - MR) vem ganhando escala, empregando o *RPAS* para examinar a progressão da construção e comparando as imagens capturadas com 4D BIM para aferição de avanços de obra [17] [18]. Outras possibilidades de uso combinado do RPAS são o auxílio no acompanhamento de obras extensas identificando sua alteração volumétrica através de levantamentos tridimensionais [19], estendendo-se a proposição de seu uso simultâneo com robôs para o registro de atividades internas e ao nível do piso através de tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) [20].

O uso do *RPAS* é amplo, já tendo sido proposto inclusive para o gerenciamento em tempo real [21]. Seu custo acessível [22] [23] [4], sua acessibilidade aos locais de obra, o incremento na segurança [24], o ciclo curto de vistoria e a qualidade imersiva [25] são algumas das principais vantagens identificadas em comparação aos métodos tradicionais. Estudos anteriores identificam um grande potencial no uso do *RPAS* no gerenciamento da construção, incluindo o monitoramento do progresso do projeto [26] [27] [28] [29]. Neste contexto, o presente trabalho busca explorar o potencial dos recursos visuais (*visual assets*), fotografias ou vídeos, produzidos pelo *RPAS* para auxílio na gestão do acompanhamento e progresso de obras.

O acompanhamento da construção é uma atividade essencial para a mitigação de riscos associados a garantia e a correta alocação de recursos. Neste contexto, o uso de Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (*RPAS*/*UAV*/Drone), associado à ciência de dados, pode proporcionar qualidade, redução de custo e ganho em escala em atividades relacionadas ao acompanhamento de garantias. O objetivo do presente

trabalho é apresentar um modelo de acompanhamento remoto da construção de empreendimentos habitacionais com o uso de *RPAS*/Drone, bem como sua inserção no contexto do acompanhamento de aferição de medições físicas, para validação do uso da ferramenta e sua aplicação na inteligência imobiliária.

MÉTODO

O método aplicado ao presente estudo é caracterizado como indutivo. Neste processo, parte-se de dados particulares, suficientemente constatados, utilizado como intermédio para a inferência de relações gerais, não contidas nas partes examinadas. "*O objetivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam*" [30].

O estudo consiste na ponderação de serviços que podem e que não podem ter sua evolução mensurada por um monitoramento com o uso de *RPAS*, considerar hipóteses de evolução dentro de uma obra e avaliar intervenções intermediárias ao uso de *RPAS* com a realização de vistorias complementares (*in loco*).

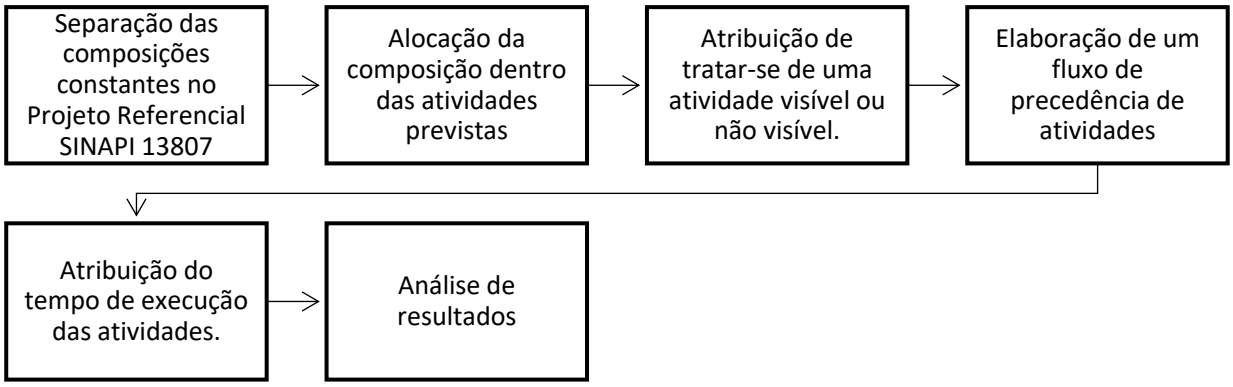
Para parametrização do estudo, foi utilizado o Relatório de Custos por Características Física, código 13807, sigla R16_3N_78C_2017, referência SINAPI, com a configuração de um bloco de 18 pavimentos (16 pavimentos-tipo, 1 piloti térreo e um subsolo de garagem), 2 elevadores e estruturas complementares. Cada pavimento-tipo com 4 apartamentos, totalizando 64 unidades habitacionais, cada uma composta por sala, varanda, 1 suíte, 2 quartos, circulação, 3 banheiros, cozinha e área de serviço [31]. Para efeito de ilustração, perspectiva ilustrativa e planta do Projeto Referencial SINAPI 13807 são apresentadas na Figura 1. Conforme registrado no relatório referenciado, o projeto adotado é hipotético, sendo o material apenas ilustrativo e não possuindo vínculo com qualquer outro processo da instituição financeira [32]. As etapas de parametrização foram desenvolvidas conforme ilustra a Figura 2.

Figura 1: Perspectiva ilustrativa da referência SINAPI 13807 (à esquerda) e planta da unidade tipo (à direita) da referência SINAPI 13807



Fonte: CAIXA, 2017.

Figura 2: Sequência de etapas para parametrização do cronograma de obra



Fonte: o autor.

O projeto referencial SINAPI 13807 é composto por 376 composições de serviços com suas descrições acompanhadas da fase, código da composição, descrição básica, unidade e quantidade. Na fase de separação das composições, estas receberem complementarmente dois marcadores, característica binária de visível (ou associada a uma atividade visível) ou não visível por um monitoramento com uso externo do *RPAS*. (quadro 1), alocando cada uma das composições nas atividades constantes na Figura 3.

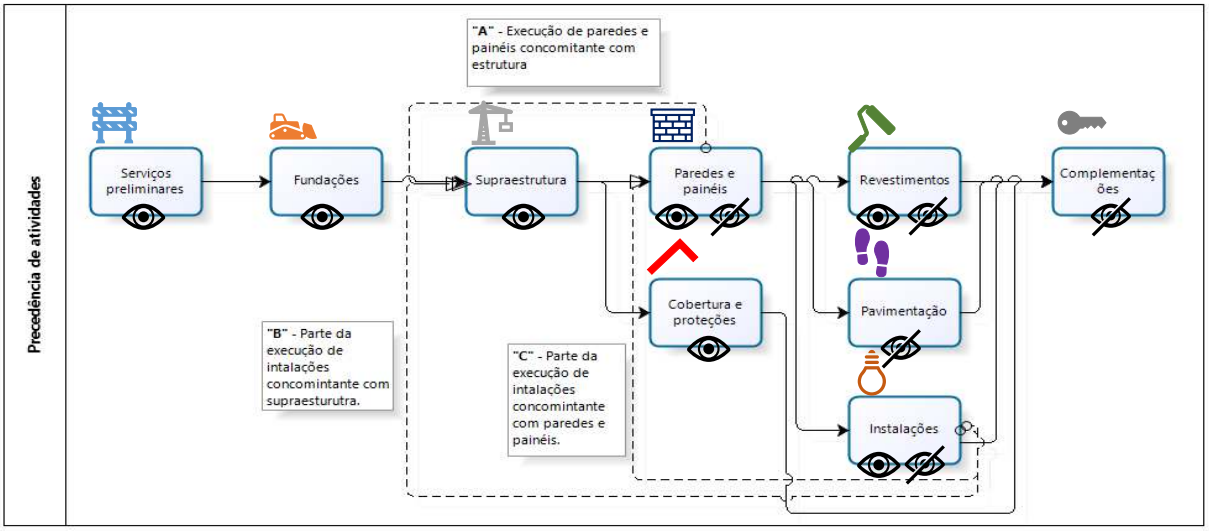
Quadro 1: Atribuição de atividades e suas composições (se visível ou não visível ao RPAS).

FASES/SERVIÇOS	VISÍVEL / NÃO VISÍVEL	FASES/SERVIÇOS	VISÍVEL / NÃO VISÍVEL
SERVIÇOS PRELIMINARES		**COBERTURA E PROTEÇÕES**	
Limpeza do terreno	👁	Cobertura / telhamento	👁
Locação da obra	👁	Impermeabilização de cobertura	👁
FUNDAÇÕES		**REVESTIMENTOS / PAVIMENTAÇÃO**	/
Fundações profundas	👁	Revestimento de fachada	👁
Fundações rasas	👁	Revestimentos internos (piso, parede e teto)	🚫👁
SUPRAESTRUTURA		**INSTALAÇÕES**	
Estrutura em concreto armado	👁	Instalações elétricas, telefone e TV	🚫👁
PAREDES E PAINEIS		Instalações hidráulicas e combate à incêndio	🚫👁
Alvenarias externas (periferia, fachada)	👁	Instalações de águas pluviais	🚫👁
Alvenarias internas	🚫👁	Louças e metais sanitários	🚫👁
ESQUADRIAS		**COMPLEMENTAÇÕES**	
Esquadrias externas (periferia, fachada)	👁	Impermeabilizações de áreas internas	🚫👁
Esquadrias e portas internas	🚫👁	Gradil externo	👁

Fonte: Adaptado de CAIXA, 2017.

Para o presente trabalho, adotou-se a premissa de aferição por *RPAS* considerando a obtenção de fotos, recursos visuais que, em comparação ao uso de vídeos e modelagem BIM, possui maior facilidade de transmissão e requer menor investimento em equipamento de processamento e armazenamento, tornando-se mais acessível a materialização de resultados em relatórios.

Figura 3: Sequência de atividades para parametrização do cronograma de obra



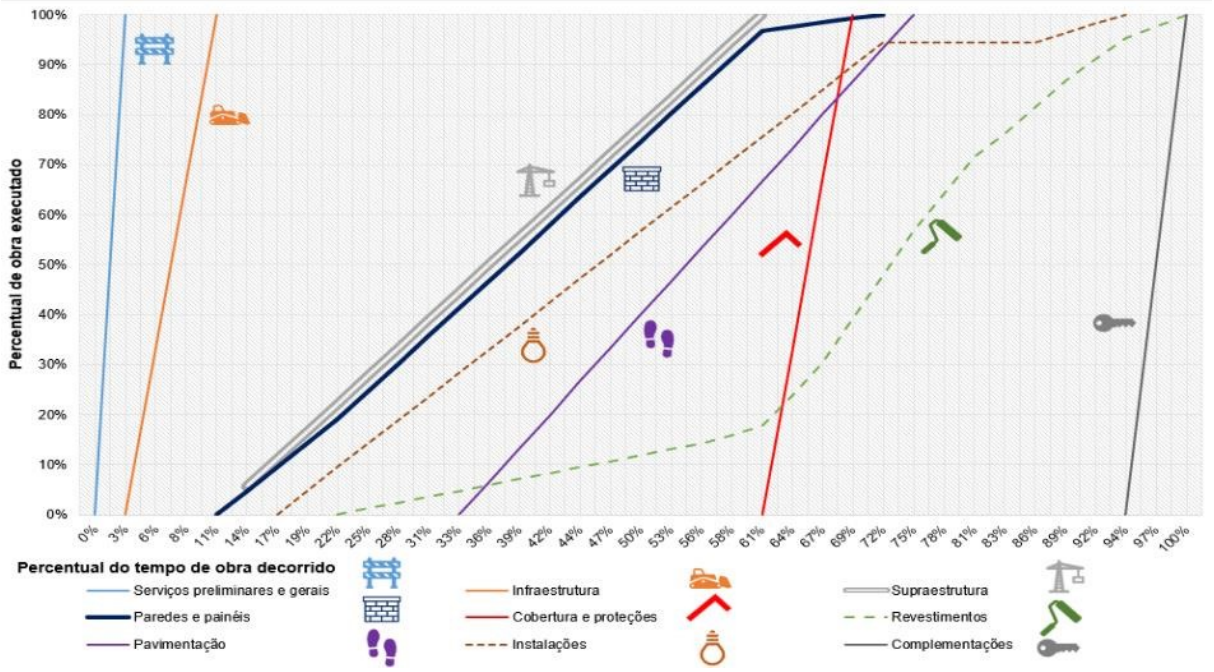
Fonte: o autor.

O fluxo de precedência de atividades considera a execução totalmente concomitante de algumas das atividades (supra estrutura/paredes e painéis) e parcialmente concomitantes (supra estrutura/instalações, paredes e painéis/instalações), considerando que parte deste serviço é feita de forma concomitante (execução de eletrodutos em lajes e paredes, por exemplo) e parte é feita em momento posterior (passagem de fios e instalação dos elementos após execução de revestimentos).

ANÁLISE DE RESULTADOS

Após a elaboração do fluxo, foi atribuído um tempo relativo (percentual) de execução de cada atividade dentro do cronograma de obra. A Figura 4 ilustra o desenvolvimento destas atividades dentro do cronograma de obra. O percentual executado da atividade, e seu custo associado, determina o percentual executado de obra. Após esta etapa é possível obter o cronograma físico de realização de obra, com sua parcela visível e não visível por *RPAS*.

Figura 4: Evolução percentual de cada uma das principais atividades de uma obra de edificação para a conclusão do empreendimento



Fonte: o autor.

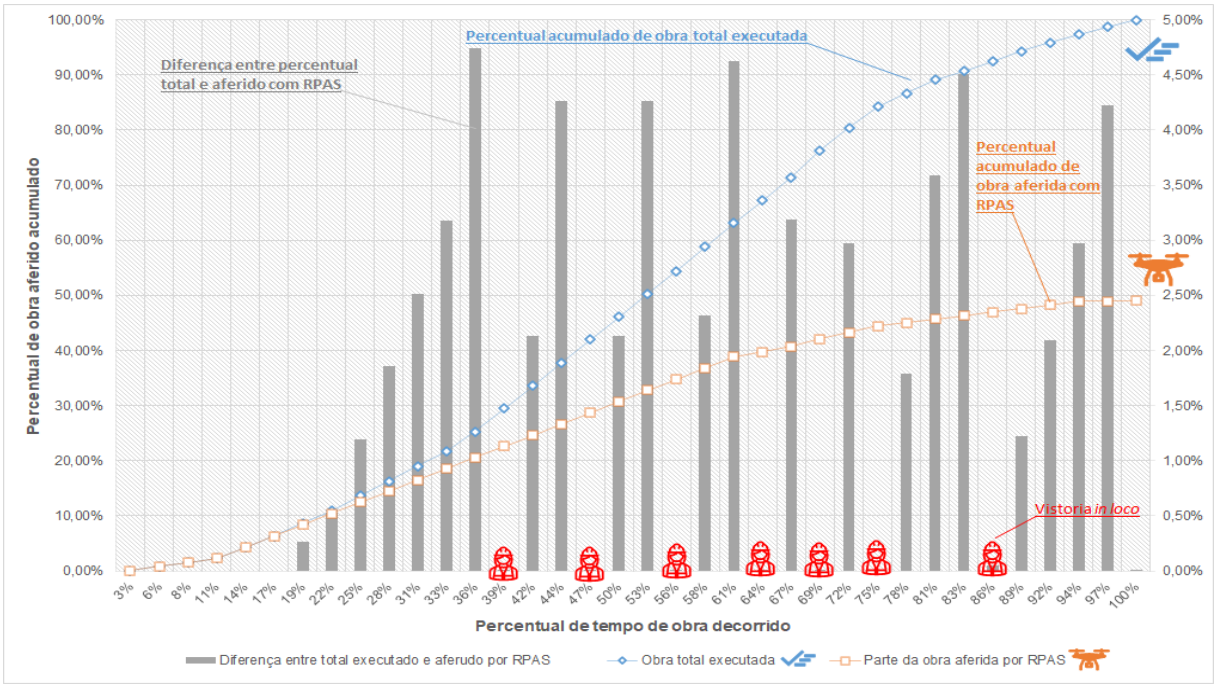
Obtido o cronograma previsto da obra e sua parcela visível (aferível por *RPAS*) e total, é possível identificar uma curva de desenvolvimento acumulado das duas parcelas que compõe a obra, sendo a primeira parcial e a segunda total. A diferença entre estas duas curvas obtidas identifica a defasagem de serviços executados que não são aferíveis pela vistoria externa. O cronograma de evolução percentual foi recortado em 36 intervenções em períodos de igual evolução do avanço da obra, correspondentes a um cronograma de 36 meses (ou um cronograma de 18 meses com 2 vistorias mensais). Salienta-se que a usual prática de apresentação prévia do pedido de aferição pelo proponente possibilita a tomada de decisão antecipada de realizar a vistoria através do *RPAS*, conforme características das atividades a serem aferidas, perante a diferença do percentual total e a ser aferida.

Essa diferença pode ser corrigida pela alternância com uma vistoria realizada *in loco* pelo método convencional de vistoria ou uso de tecnologia que possibilite a aferição da parte interna da obra. Para o presente trabalho, consoante a parâmetros observados na literatura [33], a diferença foi definida em 5%. correspondendo a um limite do descolamento da curva de aferição prevista em comparação à monitorada pelo RPAS. Esta diferença, fator que implica em uma quantidade maior ou menor de vistorias realizadas *in loco,* pode ser alterada para outro percentual, desde que previamente pactuada entre as partes envolvidas.

A Figura 5 identifica a curva de execução total e aferível por *RPAS* bem como a diferença acumulada entre estas duas curvas (prevista e realizada). Pode-se observar o planejamento do uso do monitoramento através de *RPAS* no primeiro terço da obra, situação em que geralmente a obra encontra-se até o quarto pavimento e a

composição majoritária de serviços executados apresentam-se acessíveis/visíveis ao uso da tecnologia.

Figura 5: Evolução percentual do acompanhamento da fração de obra passível de aferição por *RPAS*, sua evolução frente a evolução total de obra aferida e a diferença acumulada entre as duas evoluções (corrigida em eventuais vistorias intermediárias)



Fonte: o autor.

CONCLUSÕES

Foi identificado através do presente estudo uma promissora possibilidade do uso do *RPAS* no acompanhamento de obras habitacionais. Seu uso, associado com o modelo convencional e com a possibilidade de composição com outras tecnologias cada vez mais presentes no canteiro de obras, pode reduzir custos relacionados ao acompanhamento de obras, através da simplificação (realizada com parâmetros) do tempo de vistoria e possibilidade potencial da realização de aferição remota, com o incremento da qualidade dos registros de aferição e rastreabilidade de eventos.

Espera-se ainda que a tecnologia embarcada no *RPAS*, associado a outras tecnologias, tenha promissora agregação de funcionalidades relacionadas a automação e possibilidade de compartilhamento com atores diversos que buscam e propõem o uso da tecnologia como solução de seus negócios (urbano e rural).

Identifica-se ainda, no setor aeronáutico, um grande movimento e mudanças que buscam se integrar ao uso do *RPAS* na mesma velocidade em que seu uso é difundido e equipamentos mais modernos tornam-se cada vez mais acessíveis. Nesta mesma esteira, espera-se que a engenharia civil e seus profissionais, que podem se beneficiar de inúmeras aplicações possibilitadas pelo equipamento, também promovam o desenvolvimento de todo o arcabouço normativo e regulatório que se associa ao uso da solução dentro do canteiro de obra e seu espaço associado.

Uma limitação identificada no uso é a necessidade de associação do RPAS com outras tecnologias complementares que possibilitem a aferição em áreas internas. O desenvolvimento de modelos de RPAS protegidos por carcaças de segurança para a entrada segura na edificação para o equipamento e demais trabalhadores, a associação com outras tecnologias de monitoramento interno à construção ou sua associação com formas convencionais de aferição de serviço deve cobrir esta lacuna.

Um fator importante a se observar é o tempo relativo de duração das atividades no canteiro de obras. A situação ideal e cadenciada de progresso dos serviços se mostra dinâmica na situação real, ainda que este dinamismo não implique necessariamente na inviabilidade do uso do RPAS. Neste ponto, a oportunidade de trabalhos futuros pode identificar o desdobramento desta dinâmica em um estudo de caso real, bem como sua associação com outras tecnologias, conforme anteriormente exposto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado tem o intuito de contribuir com a discussão acerca do uso potencial e os benefícios de sistemas remotos no acompanhamento de obras e segurança da aplicação de recursos em construção civil. Em adição, trazer a discussão do uso de imagens produzidas por estes equipamentos, a validação da análise de seu produto por técnicos responsáveis dentro de suas atribuições, frente a uma demanda de novas formas de vistoria e inspeção, ainda não fundamentadas na normatização recomendável para a realização das formas de trabalho que uma inevitável automatização demanda.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. **Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993**. Institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8666cons.htm>. Acesso em: 3 julho 2021.

[2] Tribunal de Contas da União (TCU). **Obras Públicas - Recomendações Básicas para a Contratação e Fiscalização de Obras de Edificações Públicas**, 98. Brasília. Disponível em: <https://www.sop.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/30/2011/10/obraspublicastcu.pdf>. Acesso em: 3 julho 2021.

[3] VANDERHORST, H., SURESH, S., SURESH, R. Systematic Literature Research of the Current Implementation of Unmanned Aerial System (UAS) in the Construction Industry. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)**, pp. 416-428. Set/2019. DOI: 10.35940/ijitee.K1073.09811S19

[4] SABO, A., KULJIC, B., TIBOR, S. **Practical application of the drone technology in civil engeneering**. 2019.

[5] ALBEAINO, G., GHEISARI, M. Trends, benefits, and barriers of unmanned aerial systems in the construction industry: a survey study in the United States, **Journal of Information Technology in Construction**, pp. 84-111. Mar/2021. DOI: 10.36680/j.itcon.2021.006

[6] MCCABE, B., HAMLEDARI, H., SHAHI, A., ZANGENEH, P., AZAR, E. Roles, Benefits, and Challenges of Using UAVs for Indoor Smart Construction Applications. **Computing in Civil Engineering**, pp. 349 - 357. 2017.

[7] OBRADOVIC, R., MARINKOVIC, Z., VASILJEVIC, I., KARKAS, R., KOVACEVIC, D. Drone Aided Inspection during Bridge Construction. **Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)**. 2019. DOI: 10.1109/ZINC.2019.8769345

[8] LOMBARD, N., BYLAND, W., HENRY, G., LIGA, M., PRICE, V. Seeing from above, What's below: How Drones Can Be Used in Pipeline Design and Construction. **Pipelines**, pp. 392-401. 2020.

[9] HAN, D., LEE, S., SONG, M., CHO, J. Change Detection in Unmanned Aerial Vehicle Images for Progress Monitoring of Road Construction. **Buildings**. 2021. DOI: 10.3390/buildings11040150

[10] WANG, X., AL-SHABBANI, Z., STURGILL, R., KIRK, A., DADI, G. Estimating Earthwork Volumes Through Use of Unmanned Aerial Systems. Transportation Research Record: **Journal of the Transportation Research Board**, pp. 1-8. 2017. DOI: 10.3141/2630-01

[11] XIAO, Y., KAMAT, V., LEE, S. Monitoring Excavation Slope Stability Using Drones. **Construction Research Congress**, pp. 169-179. 2018.

[12] KUMARAPU, K., SHASHI, M., KEESARA, V. UAV in Construction Site Monitoring and Concrete Strength Estimation. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, pp. 619-627. Mar/2021. DOI: 10.1007/s12524-020-01246-w

[13] HUBBARD, B., WANG, H., LEASURE, M., ROPP, T., LOFTON, T., HUBBARD, S., LIN, S. Feasibility Study of UAV use for RFID Material Tracking on Construction Sites. **51st ASC Annual International Conference Proceedings**. 2015.

[14] TONDELO, P., BARTH, F. Utilização de VANT nos processos de inspeção de fachadas de um edifício. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, pp. 2845-2852. 2018.

[15] LIMA, M., MELO, R., COSTA, D. (2020). Integração do monitoramento com VANT à gestão da segurança das obras: uma revisão sistemática da literatura. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. 2020.

[16] MOUD, H. I., SHOJAEI, A., FLOOD, I., ZHANG, X. Monte Carlo based Risk Analysis of Unmanned Aerial Vehicle Flights over Construction Job Sites. 8th International **Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH 2018)**, pp. 451-458. 2018. DOI:ISBN: 978-989-758-323-0

[17] ELGHAISH, F., MATARNEH, S., TALEBI, S., KAGIOGLOU, M., HOSSEINI, M., ABRISHAMI, S. Toward digitalization in the construction industry with immersive and drones technologies: a critical literature review. **Smart and Sustainable Built Environment**. Ago/2021. DOI: 10.1108/SASBE-06-2020-0077

[18] WU, B., LI, B., LI, S., LI, H., ZHOU, R. Research on the Application of UAV Tilt Photography Technology in Engineering Project. **Journal of Physics: Conference Series**. 2021. DOI: 10.1088/1742-6596/1885/2/022037

[19] LEE, J., PARK, J.-H., JANG, B.-T. Progress Monitoring system based on Volume Comparison for the Construction Site. **International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)**. 2019. DOI: 10.1109/ICTC46691.2019.8939969

[20] LEE, J., PARK, J.-H., JANG, B.-T. Design of Robot based Work Progress Monitoring System for the Building Construction Site. **International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)**. 2018.

[21] SEUNGHO, K., SANGYONG, K. Opportunities for construction site monitoring by adopting first personal view (FPV) of a drone. **Smart Structures Systems**, 21, pp. 139-149. 2018. DOI: 10.12989/sss.2018.21.2.139

[22] ASHOUR, R., TAHA, T., MOHAMED, F., HABLEEL, E., KHEIL, Y. A., ELSALAMOUNY, M., CAI, G. Site Inspection Drone: a solution for inspecting and regulating construction sites. **59th**

International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS). 2016. DOI: 10.1109/MWSCAS.2016.7870116

[23] KAMING, P., YONATHAN, G. Comparison of the supervisory cost of using an unmanned aerial system and conventional methods in construction projects. 7th **International Conference on Euro Asia Civil Engineering Forum**. 2019. DOI: 10.1088/1757-899X/615/1/012024

[24] ZHOU, S., GHEISARI, M. Unmanned aerial system applications in construction: a systematic review. **Construction Innovation**, pp. 453-468. 2018. DOI: 10.1108/CI-02-2018-0010.

[25] ZHANG, J., HU, Q.-W. A Visualization Progress Management Approach of Bridge Construction Based on Mixed Panoramic and Oblique Photogrammetry. **26th International Conference on Geoinformatics**. 2018. DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS.2018.8557155

[26] IRIZARRY, J., COSTA, D. Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks. **Journal of Management in Engineering**. 2016. DOI: 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000422.

[27] KAAMIN, M., RAZALI, S., AHMAD, N., BUKARI, S., NGADIMAN, N., KADIR, A., HAMID, N. The Application of Micro UAV in Construction Project. **The 2nd International Conference on Applied Science and Technology 2017 (ICAST'17)**. 2017. DOI: 10.1063/1.5005403

[28] ÁLVARES, J., COSTA, D. Literature review on visual construction progress monitoring using unmanned aerial vehicles. **26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. 2018. DOI: 10.24928/2018/0310

[29] ANWAR, N., IZHAR, M., NAJAM, F. Construction Monitoring and Reporting using Drones and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). **The Tenth International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-10).** 2018.

[30] LAKATOS, E., MARCONI, M. D. **Fundamentos da metodologia científica.** 2003. 5ª ed. São Paulo: Atlas.

[31] CAIXA. **SINAPI - Projeto Referencial - Ficha Técnica do Projeto**. 2017. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>. Acesso em: 23 setembro 2019.

[32] CAIXA. **SINAPI - Projeto Referencial - Relatório de custos por características Física - 13807 - Bloco de 18 pavimentos**. 2019. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/site/paginas/downloads.aspx>. Acesso em: 23 setembro 2019.

[33] ÁLVARES, J. **Monitoramento visual do progresso de obras com uso de mapeamento 3D de canteiros por VANT e modelos BIM 4D**. Salvador, 2019. 225 f. : il Orientadora: Dayana Bastos Costa. Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPEC)) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica.