
Utilização de veículo aéreo não tripulado para inspeção de segurança em canteiros de obra: uma revisão sistemática da literatura

Use of unmanned aerial vehicle for safety inspection at construction sites: a systematic literature review

José Maria de Moura Júnior^{1*}, Felipe Mendes da Cruz¹, Yêda Vieira Póvoas¹, Lucas Rodrigues Cavalcanti¹, Bruna Letícia Costa Santos¹, Lúcia Selene Bezerra Alves¹, Beatriz Andrade Ribeiro Costa¹, Guilherme José Lucena Lopes¹, Lorena Vila Bela Costa¹, Vinícius Francis Braga de Azevedo¹

Received: 2023-01-03 | Accepted: 2023-02-05 | Published: 2023-02-13

RESUMO

A utilização de drone pode ser uma forma viável de detecção e correção de erros em tempo hábil, evitando acidentes nos canteiros de obra. O Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) pode reduzir o tempo gasto na realização de tarefas de monitoramento, melhorar o desempenho geral do projeto e agilizar o processo de reação aos potenciais riscos. O objetivo principal desta revisão sistemática de literatura (RSL) é analisar a utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de segurança em canteiros de obra. Os artigos foram pesquisados em três bases de dados, restringindo as publicações de artigos científicos na área da engenharia nos últimos 10 anos, em português, inglês e espanhol, resultando em 29 artigos selecionados. A partir da RSL, foi possível identificar as vantagens do uso de drones para melhorar as atividades relacionadas à segurança dos canteiros de obra, bem como identificar situações perigosas, identificar as técnicas ideais de uso e identificar as barreiras do uso de drones para inspeção dos canteiros. A melhoria do desempenho de segurança, oriunda do uso de VANT reduz os acidentes em canteiros de obras, o que reduz lesões e incapacidades geradas por tais acidentes.

Palavras-chave: Drone; VANT; Segurança; Canteiro de obra.

ABSTRACT

The use of drone can be a viable way of detecting and correcting errors in a timely manner, thus avoiding accidents on the construction sites. The Unmanned Aerial Vehicle (UAV) can reduce the time spent in carrying out monitoring tasks, improve the overall performance of the project and streamline the reaction process to potential risks. The main objective of this systematic literature review (SLR) is to analyze the use of unmanned aerial vehicle (UAV) for safety inspection at construction sites. The articles were searched in 3 databases, restricting the publications of scientific articles in the field of engineering in the last 10 years, in Portuguese, English and Spanish, resulting in 29 articles. From the SLR, it was possible to identify the advantages of using drones to improve activities related to the safety of construction sites, as well as to identify dangerous situations, identify the ideal use techniques and identify barriers to the use of drones for inspection of construction sites. The improvement in safety performance arising from the use of UAVs reduces accidents at construction sites, and, therefore, reduces injuries and disabilities generated by such accidents.

Keywords: Drone; Construction site; Safety; UAV.

¹ Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco.

*E-mail: jmmj@poli.br

INTRODUÇÃO

A ocorrência de acidentes na indústria da construção civil está diretamente relacionada com a ineficiência quanto à gestão da segurança nos canteiros de obras (MELO; COSTA; ÁLVARES, 2017), principalmente pela falta de organização e planejamento dos canteiros, bem como a ineficiência dos processos de logística e segurança do trabalho (LISBOA et al., 2018).

A utilização de tecnologias digitais pode ser uma forma viável de detecção e correção de erros em tempo hábil, evitando acidentes nos canteiros (ZHOU; IRIZARRY; LI, 2013). De acordo com Kim e Irizarry (2015), o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) pode reduzir o tempo gasto na realização de tarefas de monitoramento, melhorar o desempenho geral do projeto e agilizar o processo de reação aos potenciais riscos.

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC (2021), o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), em inglês Unmanned Aerial Vehicle (UAV) ou Unmanned Aerial System (UAS), popularmente chamado de “drone”, é definido como toda aeronave não tripulada que tem como finalidade a recreação.

Na engenharia civil, o uso de VANTs vem crescendo rapidamente (JEELANI; GHEISARI, 2021), podendo ser utilizados em diversas áreas: inspeção de manifestações patológicas em fachadas (RUIZ; LORDSLEEM JR.; ROCHA, 2021); identificação de resíduos de construção civil (RCC) dispostos em locais inadequados (PARENTE, 2016); monitoramento e controle de obras de infraestrutura (SALGADO NETO; CALDEIRA; FARIA, 2021); supervisão em tempo real (GUPTA; NAIR, 2020); geração e utilização de dados geocartográficos (DA LUZ; ANTUNES, 2015; DE DEUS et al., 2017); análise de inundações (BUFFON; SAMPAIO; PAZ, 2018); uso em casos de emergência (SONG; ZHANG; WANG, 2017); incêndios (ZHAO et al., 2018); inspeção de segurança em canteiro de obra (MELO; COSTA; ÁLVARES, 2017), entre outros.

De acordo com um relatório da *Association for Unmanned Vehicle Systems International* (AUVSI) sobre o impacto de VANT's nos Estados Unidos, há uma previsão de ter, até 2025, 100.000 empregos em torno do uso da tecnologia, com um impacto econômico de \$82 bilhões. Embora existam expectativas em relação ao impacto econômico do crescimento da indústria de VANT no Brasil, um dos obstáculos para a sua disseminação é a falta de regulamentação para o uso comercial (IRIZARRY; COSTA, 2016).

Diante do exposto, o objetivo principal da revisão sistemática de literatura (RSL) apresentada neste trabalho é analisar a utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) para inspeção de segurança em canteiros de obra.

METODOLOGIA

Uma revisão sistemática de literatura pode ser definida como uma pesquisa científica que contém os seus próprios objetivos, metodologia, resultados e conclusão (GALVÃO; RICARTE, 2019). Os mesmos autores ainda destacam que uma revisão sistemática deve seguir protocolos específicos, ser reprodutível, detalhada, apresentar as bases de dados consultadas, strings de busca, critérios de inclusão e exclusão e análise dos artigos, limitações dos artigos analisados, bem como as limitações da própria revisão.

As bases de dados são fontes importantes de dados bibliográficos, pois disponibilizam uma considerável quantidade de conteúdo científico em um só local (BRANDÃO; CAMPOS, 2019). A seleção dessas bases se baseou naquelas disponibilizadas pelos convênios CAPES/CNPq. As bases de dados deste trabalho foram escolhidas pela área em que a pesquisa se contextualiza: Engenharias, bem como com a disponibilidade de acesso às mesmas. As bases utilizadas foram: Scopus, Science Direct e Web of Science.

As palavras-chave utilizadas foram aquelas que, junto com a string de busca, resultassem no melhor resultado para a pesquisa. Vale ressaltar que se usaram vários sinônimos para a mesma palavra, com o intuito de não perder nenhuma pesquisa relevante acerca do assunto. As palavras-chave utilizadas foram: civil construction; civil engineering; safety engineering; construction management; Unmanned Aerial Vehicles - UAV; UAV; drone; drones; Unmanned Aerial Systems (UASs); UAS; UASs; Unmanned Aerial Vehicles and system; construction sites; sites; safety; safety inspection e inspection.

A string estabelecida para a Scopus e Web of Science foi: ("civil construction" OR "civil engineering" OR "safety engineering" OR "construction management") AND ("Unmanned Aerial Vehicles" OR "UAV" OR "drone" OR "drones" OR "Unmanned Aerial Systems" OR "UAS" OR "UASs" OR "Unmanned Aerial Vehicles and system") AND ("construction sites" OR "sites" OR "safety" OR "safety inspection" OR "inspection"). A Science Direct possui uma restrição quanto ao número de palavras-chave, logo teve que ser adaptada, resultando na seguinte string: ("civil construction" OR "construction management") AND ("Unmanned Aerial Vehicles" OR "drones" OR "Unmanned Aerial Systems" OR "Unmanned Aerial Vehicles and system") AND ("construction sites" OR "sites" OR "inspection").

O Quadro 1 apresenta o protocolo utilizado para o mapeamento sistemático de forma coesa e resumida.

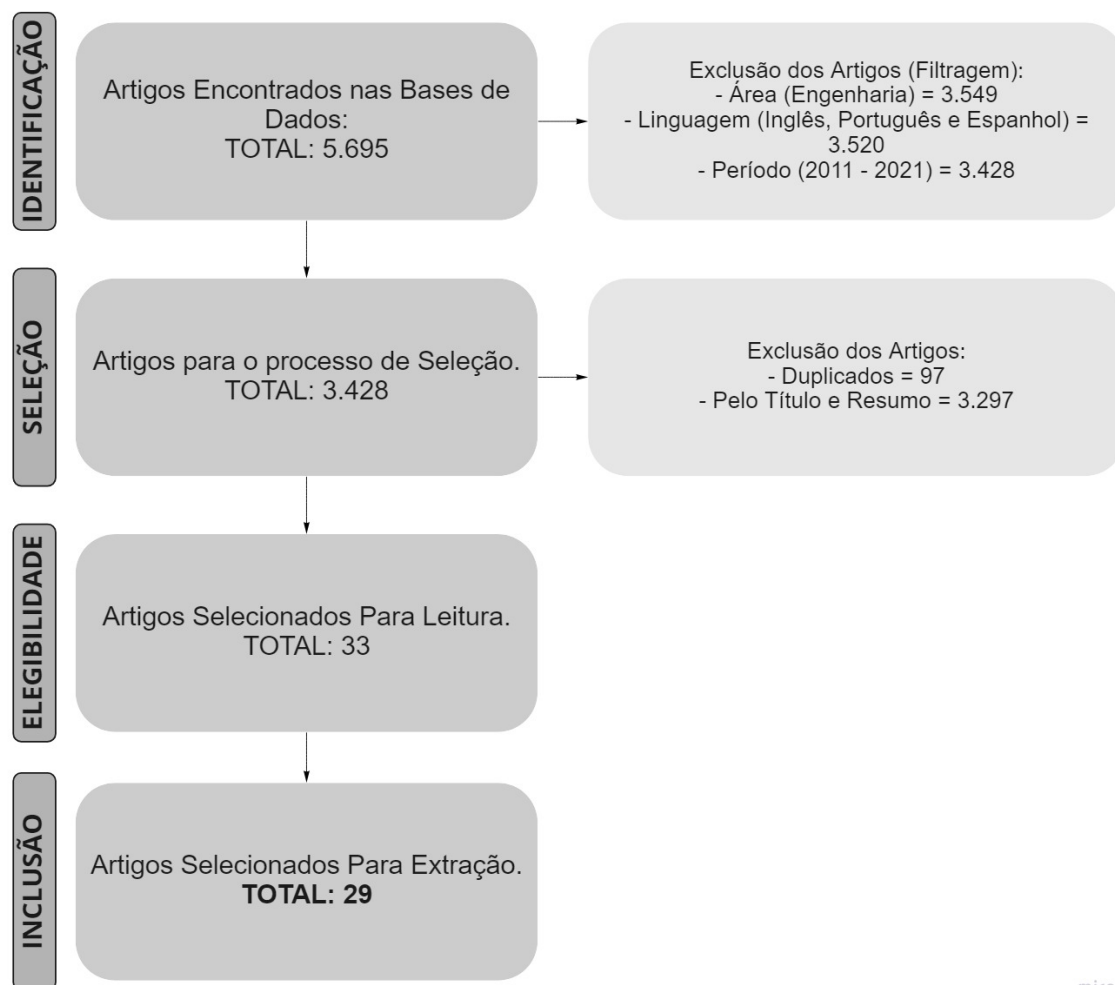
Quadro 1 – Protocolo de busca

PROTOCOLO DE BUSCA	
Estrutura conceitual	Visou analisar a utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para inspeção de segurança em canteiros de obra.
Contexto	Buscou-se pesquisa sobre a utilização de VANT em canteiros de obra
Período	2011-2021
Idiomas	Inglês, espanhol e português
Questão de pesquisa	Como o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) pode ser utilizado para inspeção de segurança em canteiros de obra?
Critérios de Exclusão	Artigos que não estejam relacionados à área da Engenharia Civil; artigos duplicados; artigos com título não contudente com a pesquisa; artigos com resumo não contudente com a pesquisa; artigos que não apresentam resumos; artigos sem metodologia bem detalhada.
Critérios de Inclusão	O artigo traz informações do uso de VANT para inspeção de canteiros de obra; artigos com textos completos; pesquisas primárias; artigos avaliados por pares.

Fonte: Autores

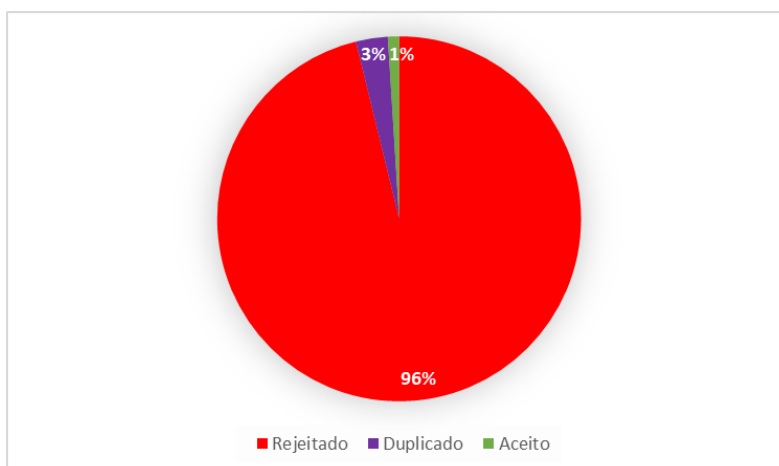
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A revisão sistemática foi conduzida em outubro de 2021. A busca nas bases resultou em um total de 5.695 artigos, que foram filtrados de acordo com o protocolo, resultando em 3.428 artigos aptos para etapa de seleção. Em seguida, iniciou-se a exclusão dos artigos duplicados e a leitura dos títulos e resumos. Após a leitura completa dos 33 artigos que permaneceram, verificou-se que 29 estavam de acordo com o objetivo da pesquisa. A Figura 1 apresenta o fluxograma do modelo PRISMA com o resumo dos resultados para cada filtro.

Figura 1 – Fluxograma da Pesquisa dos Artigos

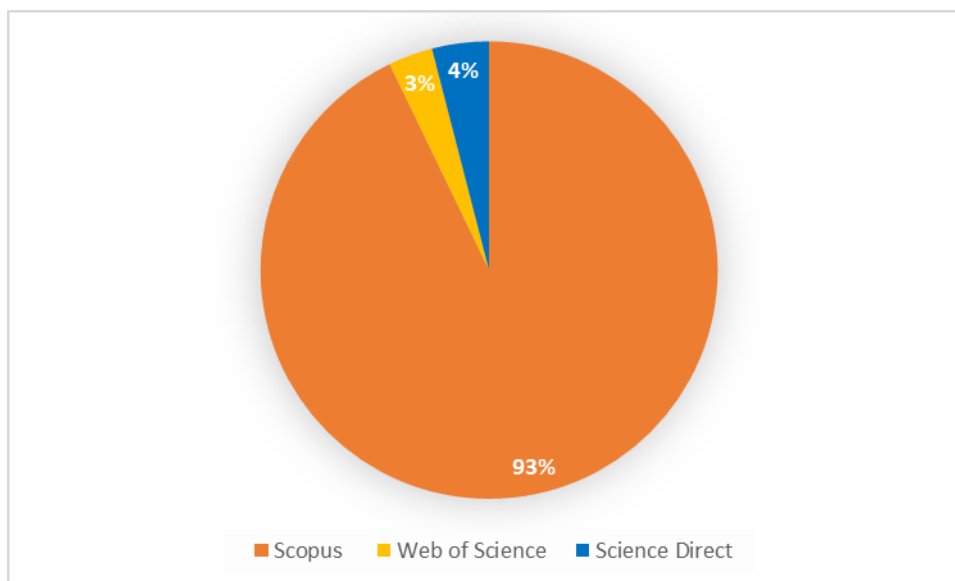
Fonte: Autores

Durante a etapa de seleção, dos 3.428 artigos, 97 foram excluídos por estarem duplicados, 3.297 foram rejeitados após leitura de título e resumo e apenas 33 foram aceitos para extração. Este número é equivalente a, aproximadamente, 1% dos artigos, como mostra a Figura 2. É possível afirmar que os mecanismos de buscas das bases de dados não são tão eficientes, visto que 3.297 artigos foram excluídos pela leitura de título e resumo.

Figura 2 – Classificação dos artigos

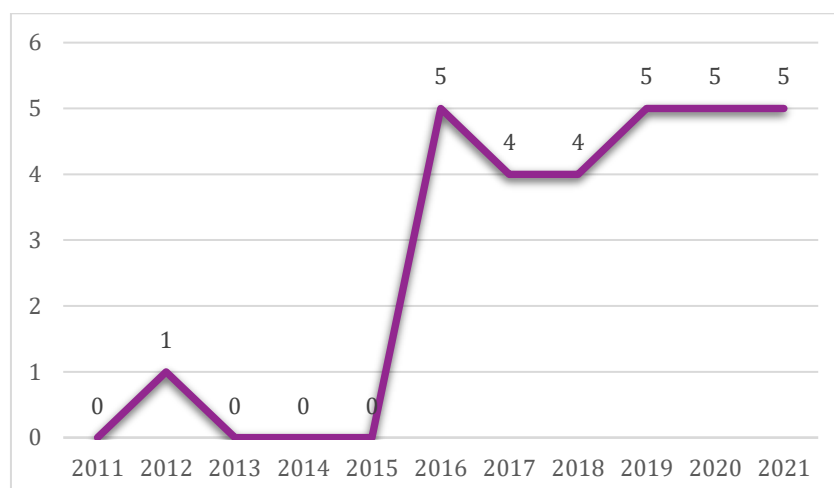
Fonte: Autores

A Figura 3 mostra o número de artigos para cada base de dados. Verificou-se que a base de dados Scopus foi responsável pela maior parte das publicações, contendo 93% do total encontrado.

Figura 3 – Artigos encontrados nas bases de dados após filtragem inicial

Fonte: Autores

A Figura 4 mostra o resultado do número de publicações dos artigos aceitos para extração de dados nos últimos 10 anos. Percebe-se que em 2012 houve um estudo sobre o tema publicado em revistas, porém, apenas em 2016 houve uma retomada, estudando-se o assunto nos anos seguintes. Percebe-se que, a partir desse ano houve certa constância entre o número de publicações anuais, mostrando que o assunto vem sendo bastante estudado.

Figura 04 – Número de publicações dos artigos aceitos de 2011 a 2021

Fonte: Autores

Durante a fase de leitura completa e extração, quatro artigos foram removidos. O artigo “Comparison of the supervisor cost of using an unmanned aerial system and conventional methods in construction projects” foi removido por trazer uma visão geral do uso de drone, não trazendo aspectos específicos ao uso no canteiro de obra. O artigo “Model-Driven Visual Data Capture on Construction Sites - Method and Metrics of Success” foi removido por tratar da elevação da construção, e não da inspeção do canteiro de obras. O artigo “Qualitative and Quantitative Risk Analysis and Safety Assessment of Unmanned Aerial Vehicles Missions over the Internet” foi recusado por falar sobre o risco de quedas de drone, não relacionando o fato ao uso em canteiro de obra. O “Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)” não trata sobre a inspeção do canteiro de obras.

O primeiro estudo publicado no campo de estudo desta RSL foi em 2012 por um grupo de pesquisa do Instituto de Tecnologia da Geórgia (IRIZARRY; GHEISARI; WALKER, 2012) e esta pesquisa pode ser considerada como o marco inicial para a aplicação de VANT para monitoramento das condições de segurança nos canteiros de obras.

Apesar da aplicação do VANT na indústria da construção ter sido lenta (MOSLY, 2017), os responsáveis pela segurança podem utilizar o VANT para se comunicarem com os trabalhadores em caso de situações perigosas (HUBBARD et al., 2015). Além disso, com o VANT é possível realizar a inspeção em locais perigosos que são de difícil acesso ao supervisor de segurança (CHEN; ZHANG; MIN, 2019; MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020). Segundo Howard e Murashov (2018), o uso do VANT para monitoramento de segurança é a melhor alternativa entre as técnicas de visão computacional, podendo ser utilizado em diversos contextos dentro da segurança da construção: monitoramento do andamento do projeto, avaliação dos planos de

logística do canteiro de obras, monitoramento das condições e segurança e inspeções de qualidade do trabalho realizado, além de outras tarefas secundárias de gestão (IRIZARRY; COSTA, 2016).

Segundo Bang, Kim Hongjo e Kim Hyoungkwan (2017), quanto maior o canteiro de obra, mais difícil um supervisor de segurança entender e controlar a sua situação. A utilização do drone reduz o tempo que o engenheiro de segurança ou o encarregado leva para a realização de visita no local (MARTINEZ; GHEISARI; ALARCÓN, 2020). Para Irizarry, Gheisari e Walker (2012), o principal risco para a utilização dos drones na construção civil é colocar em risco a segurança dos trabalhadores no canteiro de obras. Um outro desafio verificado é a implementação da tecnologia, visto que os trabalhadores estão acostumados a ter um supervisor de obra que percorre a obra para verificar os requisitos de segurança.

Moud et al. (2019) fizeram uma simulação de Monte-Carlo em um canteiro de obras em um campus da Universidade de Flórida para mostrar a importância da segurança no risco de proximidade. Os autores realizaram um estudo em um prédio de um andar, onde o VANT não ultrapassaria os 100 pés. Um evento de proximidade entre o drone e o trabalhador acontece quando o VANT voa a uma altitude de até 10 pés, onde, para a simulação feita, corresponde a uma faixa entre 0 e 5% de cada missão de voo. Segundo entrevistas realizadas por Calantropio (2019), a altura operacional preferida entre os entrevistados é de 30 m, com tempo de voo ideal entre 30 e 60 min, e distância do operador inferior a 150 m. São necessários ciclos de recarga e manutenção, uma vez que o VANT deve estar totalmente carregado para voar por períodos maiores (GHEISARI; ESMAEILI, 2016).

Costa et al. (2016) analisaram a percepção dos usuários sobre os riscos associados a tecnologia, na qual, segundo os trabalhadores, o grau de invasão de privacidade, a distração do trabalho e a preocupação com os riscos de queda e colisão foram classificados como baixo. Kim, Irizarry e Costa (2020) detalharam que uma das lições aprendidas foi que houve distração do trabalhador enquanto o VANT sobrevoava o local de construção, detalhe também observado por Martinez et al. (2021). Portanto, é importante educar a equipe sobre a tecnologia, sua utilidade e propósito no canteiro de obras, evitando distrações ou condições inseguras de trabalho (IRIZARRY; COSTA, 2016).

Os drones conseguem chegar a áreas perigosas ou inacessíveis no canteiro de obras mais rápido que os humanos (GHEISARI; ESMAEILI; 2019), podendo ser utilizado para monitoramento em tempo real, de qualquer lugar, fornecendo informações relevantes em tempo hábil (WANG; XUE; CHEN, 2016; MELO et al., 2017; KIM SEUNGHO; KIM SANGYONG, 2018). Para Iroshana, Francis e Gamage (2020), as principais vantagens da utilização do VANT para monitoramento são: monitorar o comportamento dos trabalhadores e obter informações locais e inspeção autônoma com GPS (podendo criar modelos 3D). Além disso, o VANT pode ser utilizado para

verificar se os trabalhadores estão cumprindo as medidas de segurança, bem como a utilização de capacete, cinto de segurança, sapatos antiderrapantes; se há pessoal irrelevante em local perigoso; monitoramento de comportamento para assim educar quando identificar situação de perigo (WANG; XUE; CHEN, 2016). Martinez, Gheisari e Alarcón (2020) conseguiram identificar através das imagens geradas pelo drone a falta de grades de proteção, redes de segurança em torno de bordas, aberturas desprotegidas, falta de EPI e cintos de segurança adequados.

Segundo Alizadehsalehi et al. (2018), a utilização de drones na gestão de segurança reduz significativamente o número de acidentes fatais, não fatais e acidentes causadores de danos. Kim, Irizarry e Costa (2020) destacam que a perda ou fraqueza de sinal causada por ambientes com um número significativo de materiais, equipamentos e recursos humanos, pode ocasionar a queda do drone no canteiro de obras e, no pior dos casos, um acidente fatal ao colidir com um trabalhador. Logo, sua aplicação tem algumas limitações, tais como: risco de queda, requisitos legais, limitações técnicas (tempo de bateria, interferência de rádio), limitações de uso e fatores financeiros (GHEISARI; RASHIDI; ESMAEILI, 2018; KIM SEUNGHO; KIM SANGYONG, 2018).

Gheisari e Esmaili (2016) identificaram na literatura 16 situações de risco (Tabela 1) que poderiam ser mitigadas com o uso de VANT, classificadas de acordo com o fator de importância que foi calculada multiplicando a pontuação média de classificação de eficácia e frequência.

Tabela 1 – Fator de impacto do uso de VANT para melhorar a segurança

Situações de risco ou atividade relacionada à segurança	Fator de Impacto
Trabalho próximo a veículo pesado/guindaste	15.95
Trabalho próximo a partes desprotegidas	15.93
Trabalho em ponto cego de equipamento pesado	14.83
Investigação pós acidente	13.83
Veículos de lança nas proximidades de linhas de energia aéreas	13.52
Inspeção de manutenção de casa	13.19
Inspeção de uso adequado de proteção contra queda de sistemas	12.81
Trabalho próximo a materiais perigosos	11.73
Vala/fosso desprotegido	11.48
Inspeção do uso adequado de EPI no local	10.58
Inspeção da entrada em espaço confinado	9.74
Inspeção de escada/andaime	9.57
Inspeção de amarração em risco	6.79
Inspeção de requisitos para proteção de maquinário	5.79
Inspeção de requisitos de ergonomia	4.44
Uso de tag out/lock out	3.06

Fonte: Adaptado de Gheisari e Esmaili (2016).

Para Gheisari e Esmaceli (2016), as tarefas mais importantes que o VANT pode vistoriar são os trabalhos próximos de veículos pesados, como guindastes e trabalhos perto de uma abertura desprotegida. Segundo Calantropio (2019), as três características mais importantes para que o VANT opere com segurança são: capacidade de mapeamento de alta resolução, navegação interna de alta precisão e interface de usuário interativa e simples. Já as três características menos interessantes são: comunicação de áudio em tempo real, compatibilidade com outros dispositivos móveis e manipulação do drone.

Para Umar (2020), as dez principais barreiras de uso dos drones para trabalhos relacionados à segurança na construção relatados pelos entrevistados no estudo foram: questões de segurança, desafios técnicos, responsabilidade e questões legais, exigência de um operador, requisito de treinamento, condições meteorológicas, grande investimento, cenário econômico incerto da região, consciência da tecnologia e limitação de aplicação devido a diferentes projetos da natureza.

Segundo Chen, Zhang e Min (2019) e Alizadehsalehi et al. (2018), o VANT pode beneficiar o BIM na fase de pré construção, construção e pós construção, fazendo levantamentos topográficos com alvos distintos para cada fase. Na fase de pré projeto o foco é no local e nas edificações do entorno. Essas informações podem ser usadas para gerar um modelo 3D que pode ser usado para o planejamento de segurança. Na fase de construção, o foco é nas fontes ou nos locais de potencial risco de segurança. Se houver incidentes de segurança, o VANT pode ser usado como sistema de alerta precoce. Além disso, as imagens fornecidas pelo VANT podem ser usadas para corrigir o BIM com condições reais de segurança do local. Para a fase de pós construção, o foco é na edificação concluída. Nesse caso, o VANT pode avaliar as condições dos edifícios.

Segundo Chen, Zhang e Min (2019), a limitação mais importante do sistema VANT/BIM é que não existe um sistema que integre as funções de levantamento geométrico, identificação de potenciais perigos e inspeção de locais perigosos. Não existe uma estrutura que integre essas três funções. Os autores afirmam que, com o desenvolvimento de tecnologias de inteligência artificial, logo será possível construir sistema de inspeção de segurança VANT/BIM totalmente automatizado.

Irizarry, Gheisari e Walker (2012) realizaram um experimento para simular o uso real de drone em canteiro de obras, analisando a tarefa de contar o número de capacetes encontrados nas imagens obtidas pelo VANT. A análise foi feita em ambiente controlado (laboratório), em três condições distintas: visualização plana (projektor), iPad e iPhone. Conclui-se que o iPhone provoca uma redução na precisão da visualização, porém o iPad obteve uma pontuação parecida com a do projetor, mostrando ser eficaz para tal tipo de perícia. Os resultados foram corroborados em uma

pesquisa com participantes, na qual se verificou que os mesmos concordavam que o iPad era grande o suficiente para determinar a tarefa de contagem de número de capacetes.

Kim, Irizarry e Costa (2020) realizaram um estudo para verificar a percepção do usuário sobre o fluxo de trabalho quando o gerenciamento de segurança era feito utilizando o VANT. É importante ressaltar que os dados desta pesquisa foram de caráter qualitativo, visto que a amostra era pequena. De acordo com os entrevistados, o drone pode ser usado no canteiro de obras a depender do plano de fundo do projeto, a capacidade e especificação do hardware e a capacidade de comunicação das equipes.

Melo et al. (2017) realizaram um estudo que desenvolveu e validou um processo completo de inspeção no canteiro utilizando o drone, na qual é feita uma análise do alvo de planejamento, coleta de dados, processamento de dados e análise de dados. Para tal, os autores criaram um conjunto de formulários baseados em Irizarry, Costa e Kim (2015), contendo: formulário de reunião de planejamento, lista de verificação de missão do VANT, formulário de dados de registro de voo e lista de verificação de segurança.

Moud et al. (2020) propuseram uma abordagem para medição de riscos indiretos de voos de drone próximo a trabalhadores da construção civil. O modelo possui uma abordagem única para quantificar os riscos indiretos, mas necessita de mais estudos para validação dos resultados. Uma modificação esperada para o futuro é a incorporação de características específicas de cada ambiente de voo, além de ajustes para captura de efeitos dinâmicos, como mudanças da distribuição de trabalhadores.

Calantropio (2019) realizou uma pesquisa composta por 79 questões para avaliar a eficácia, importância e frequência do uso de VANT para realizar avaliação de segurança em canteiro de obra pós desastre (acidente) e em situação não crítica. Segundo a pesquisa, as três situações em que o VANT é mais útil são: investigação pós acidente, auxiliando veículos de lança/guindastes nas proximidades de linhas de energia aérea e inspeção de operação de equipamento de risco. Além disso, situações como: inspeção de requisitos de ergonomia, inspeção de requisitos para proteção de maquinários e uso de tagout e lockout, foram classificadas como situações menos adequadas para o uso de VANT, justificadas pela necessidade de uma análise profunda e pessoal por parte do supervisor de segurança.

Umar (2020) realizou uma entrevista com 21 participantes, na qual constatou que a aplicação mais comum de drones, relatada pelos entrevistados, foi a de fotografia para fins de marketing, seguida de levantamento de dados e inspeção de qualidade. Alguns participantes responderam que não usam drone para seus projetos, sendo os principais motivos: o entrevistado não identificou uma área de atuação específica para a utilização do drone; o custo; a tecnologia ser recente na

construção civil; e a existência de ferramentas alternativas que podem ser usadas no lugar do drone.

Kim, Irizarry e Costa (2016) fizeram uma pesquisa por questionário para identificar os requisitos e desafios do usuário, e para indicar a importância do uso de VANT na gestão de segurança e em procedimentos de controle de canteiro de obras. De acordo com a pesquisa, os requisitos principais são: checklist, plano de voo e interface de usuário fácil. Já os desafios principais foram: operadores certificados, custo e regulamentação.

Costa et al. (2016) realizaram um estudo de caso analisando duas obras residenciais. Coletou-se diversas informações acerca da segurança do trabalho relacionada ao canteiro de obra, tais como: rotas de tráfego pessoal, estado de equipamentos, proteção de trabalhadores contra quedas, estoque de materiais, entre outros. No projeto A foi possível observar 93% dos itens pré estabelecidos, os outros 7% não foram possíveis devido a uma falha de procedimento de inspeção, resultado de uma falha de coleta que ocorreu em um dos voos. Um dos motivos da falha foi a ampla extensão do canteiro de obras (150.000 m²) e a enorme quantidade de trabalhos sendo feitos simultaneamente. O projeto B era uma edificação vertical e a inspeção foi focada na fachada. Não foi possível observar 15% dos itens de inspeção de segurança. Segundo os autores, vários fatores influenciaram para essa falha, como a rede de proteção ao longo da fachada ser uma barreira contra a inspeção detalhada e a limitação de altitude de 60 m, visto que o edifício possuía 80 m de altura.

No trabalho de Costa et al. (2016), realizou-se 23 testes de voo nos dois projetos analisados, onde o tempo médio foi de 09 minutos e 08 segundos por voo, enquanto a autonomia da bateria está entre 15-18 minutos. O fabricante recomenda a devolução da aeronave com 30% da bateria carregada, porém, por questões de segurança, a equipe de pesquisadores costumava iniciar o pouso com 35% da carga restante, principalmente quando a aeronave estava em altitude relativamente elevada ou longe do local de decolagem. Os autores identificaram alguns problemas durante os voos relacionados à perda de sinal, identificação de GPS antes da decolagem e velocidade do vento.

Yi e Sutrisna (2021) estudaram um algoritmo de programação para que o drone realizasse voo em um caminho fixo sobre um canteiro de obras, otimizando a sua velocidade para garantir o monitoramento no máximo de área possível sem esgotar sua bateria. Segundo os autores, os resultados dos experimentos numéricos confirmaram que o modelo proposto está correto, porém a validação deve ser feita em estudos de campo. O estudo recomenda que o algoritmo seja usado em canteiro de obras que mudam frequentemente, a exemplo de construção pré-fabricada. Os autores pretendem continuar o estudo analisando o uso de múltiplos drones para monitoramento e a programação de drones para vigilância eficaz do canteiro de obra.

Bang, Kim Hongjo e Kim Hyoungkwan (2017) propuseram um método de geração automática de mapa 2D de alta resolução para monitorar o canteiro de obras. As imagens eram coletadas pelo VANT e em seguida o sistema extraía *frames* de vídeos para reduzir o tamanho dos dados. Posteriormente, as imagens passavam por um processo de filtragem para obtenção do mapa final. O terceiro passo era corrigir a distorção da lente da câmera para retificar o efeito curvo das imagens. Em seguida, as imagens eram combinadas e, por último, costuradas e mescladas para obtenção da imagem final que representasse todo o canteiro de obras. Os autores afirmam que o método pode ser usado por um piloto novato, visto que o algoritmo possui correção de erros, garantindo um mapa eficiente em um curto espaço de tempo.

Guo, Niu e Li (2018) propuseram um método para detectar trabalhadores em situações inseguras através de imagens obtidas por drone seguido por técnicas de processamento de imagem com o objetivo de gerar um conjunto de dados para uma rede de treinamento. A precisão encontrada foi de 67,5% para funcionários sem uso de capacete, o que demonstra que o método proposto ainda precisa ser otimizado.

Daeho et al. (2017) realizaram um estudo com o objetivo de verificar a viabilidade da detecção de proximidade no local através do uso de drones. O estudo concluiu que é viável a utilização em termos de precisão e aplicabilidade. No entanto, para garantir o desempenho completo para a aplicação em campo, são necessárias melhorias. Os autores destacam a necessidade de mais informações e detalhes para a interpretação de um perigo, além de utilização de técnicas de visão computacional, como pré-processamento de imagem e detecção de borda e ajuste de linha para que seja possível a detecção de um ponto de referência de forma mais eficiente, aumentando a precisão da localização. Bang, Kim Hongjo e Kim Hyoungkwan (2017) propuseram um método de processamento de imagem para criar panoramas de alta qualidade, realizando uma filtragem dos quadros desfocados dos vídeos, selecionando os quadros com melhor qualidade. O método de pré-processamento é composto por três módulos: remoção de desfoque, seleção de quadro-chave e correção de câmera. Kim, Irizarry e Costa (2020) ressaltam a importância de fatores externos como clima e luz para os voos e coleta de dados.

Para Kim Seungho e Kim Sangyong (2018), uma forma de melhorar o sistema é através de uma integração com programas que usam inteligência artificial que melhorem a capacidade de detecção de detalhes. Rey, Costa e Melo (2021) propuseram um sistema baseado no Design Science Research (DSR), que combina o VANT com uma lista digital para verificações em inspeções de segurança. Os autores realizaram testes em dois canteiros de obras e verificaram que houve uma redução de tempo de inspeção de 73% em comparação a uma inspeção padrão de VANT.

Martinez et al. (2021) propuseram um sistema de voo customizado, denominado iSafeUAS, que utiliza um super zoom ótico e um sistema de pára-quedas para garantir a aquisição de dados segura e precisa sem a necessidade de voo perto de áreas povoadas. O pára-quedas foi utilizado para diminuir a energia de impacto, reduzindo a probabilidade de fatalidade. Os autores realizaram um estudo em uma obra e concluíram que o sistema reduziu em mais de 40% a probabilidade de acidente relacionada ao VANT.

Identificou-se uma falha na pesquisa, visto não ser possível encontrar artigos importantes sobre o assunto, bem como: “Feasibility study to determine the economic and operational benefits of utilizing unmanned aerial vehicles (UAVs)” (IRIZARRY; JOHNSON, 2014), “Using Unmanned Aerial Systems for Automated Fall Hazard Monitoring in High-rise Construction Projects” (GHEISARI et al., 2020). Uma justificativa para tal acontecimento foi a não disponibilidade nas bases de dados pesquisadas, o que indica a quantidade limitada de base de dados pela pesquisa realizada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma revisão sistemática foi feita com o intuito de entender como o VANT pode ser utilizado no monitoramento de canteiro de obra. Inicialmente, fez-se uma análise bibliométrica e em seguida, realizou-se uma análise dos artigos selecionados para a extração.

O VANT pode ser utilizado para monitoramento em tempo real do canteiro de obras, fornecendo informações relevantes em tempo hábil para o supervisor de segurança. De acordo com os resultados encontrados, as principais vantagens dessa utilização são: inspeção em locais perigosos de difícil acesso, monitoramento do comportamento dos trabalhadores e utilização de EPI's, redução de tempo para supervisão, obtenção de informações locais e inspeção autônoma com GPS.

Os principais riscos para a utilização dos drones na construção civil são: queda dos trabalhadores no canteiro de obras pela distração ao olhar o drone, limitações técnicas (bateria, interferência de rádio) e implementação da tecnologia.

A utilização de drone por um supervisor de segurança demonstrou-se extremamente benéfico para a inspeção de canteiros de obras. A melhoria do desempenho na segurança oriunda do uso de VANT apresentou redução de acidentes em canteiros de obras.

Necessita-se de mais estudos abordando o uso da tecnologia do VANT aliada ao BIM, bem como sistemas que potencializem a eficiência do equipamento, algoritmos de programação específicos para análise de canteiro de obras e integração de inteligência artificial.

Este estudo foi conduzido para examinar as vantagens do uso de drones para melhorar as atividades relacionadas à segurança dos canteiros de obra, bem como identificar situações perigosas, identificar as técnicas ideais de uso e identificar as barreiras do uso de drones para inspeção dos canteiros.

REFERÊNCIAS

ALIZADEHSALEHI, S. et al. The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, [s. l.], v. 26, p. 829-844, 2018.

ANAC AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil (RBAC-E nº94 EMD 01)**. Brasília: ANAC, 2021.

BANG, Seongdeok; KIM, Hongjo; KIM, Hyoungkwan. UAV-based automatic generation of high-resolution panorama at a construction site with a focus on preprocessing for image stitching. **Automation in Construction**, [s. l.], 2017.

BANG, Seongdeok; KIM, Hongjo; KIM, Hyoungkwan. Vision-based 2D map generation for monitoring construction sites using UAV Videos. In: **ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**. IAARC Publications, 2017.

BRANDÃO, V. R., CAMPOS, M. A. S. (2019). Avaliação ambiental de sistemas de aproveitamento de água pluvial - um mapeamento da literatura: um mapeamento de literatura. **Paranoá**, (23), 93–111. <https://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n23.2019.09>

BUFFON, E.; SAMPAIO, T.; PAZ, O. Veículo aéreo não tripulado (VANT)-aplicação na análise de inundações em áreas urbanas. GOT: **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, n. 13, p. 85, 2018.

CALANTROPIO, A. The use of UAVs for performing safety-related tasks at post-disaster and non-critical construction sites. **Safety**, v. 5, n. 4, p. 64, 2019.

CHEN, Y.; ZHANG, J.; MIN, B. Applications of BIM and UAV to construction safety. In: **CSCCE Annual Conference**. 2019. p. 1-7.

COSTA, D. B.; MELO, R. R. S.; ALVARES, J. S.; BELLO, A. A. Evaluating the performance of unmanned aerial vehicles for safety inspection. **Boston, MA, USA**, p. 23-32, 2016.

DAEHO, Kim et al. Feasibility of a Drone-Based On-Site Proximity Detection in an Outdoor Construction Site. **Conference: ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering2017**, [s. l.], p. 392-400, 2017.

DA LUZ, C. C.; ANTUNES, A. F. B. Validação da tecnologia VANT na atualização de bases de dados cartográficos geológicos – Estudo de Caso. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 7, p. 1439-1452, 11.

DE DEUS, R. A. S. G.; RAMOS, R. P. S.; ALEXANDRE, F. S.; GOMES, D. D. M. O uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) Para geração de dados geocartográficos

na Universidade de Pernambuco-Campus Garanhuns. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 5543-5551, 2017.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

GHEISARI, M.; ESMAEILI, B. Unmanned aerial systems (UAS) for construction safety applications. In: **Construction Research Congress 2016**. 2016. p. 2642-2650.

GHEISARI, M.; RASHIDI, A.; ESMAEILI, B. Using unmanned aerial systems for automated fall hazard monitoring. In: **Proc., ASCE Construction Research Congress**. 2018. p. 62-72.

GHEISARI, M.; ESMAEILI, B. Applications and requirements of unmanned aerial systems (UASs) for construction safety. **Safety science**, v. 118, p. 230-240, 2019.

GHEISARI, M. et al. **Using Unmanned Aerial Systems for Automated Fall Hazard Monitoring in High-rise Construction Projects**. 2020.

GUO, Y.; NIU, H.; LI, S. Safety monitoring in construction site based on unmanned aerial vehicle platform with computer vision using transfer learning techniques. In: **Proceedings of the 7th Asia-Pacific Workshop on Structural Health Monitoring, APWSHM 2018, 12-15 November 2018, Hong Kong SAR, China**. 2018.

GUPTA, S.; NAIR, S. Challenges in Capturing and Processing UAV based Photographic Data From Construction Sites. In: **ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction**. IAARC Publications, 2020. p. 911-918.

HOWARD, J.; MURASHOV, V. Unmanned aerial vehicles in construction and worker safety. **American Journal of Industrial Medicine**, 61(1), 3-10. 2018.
doi:10.1002/ajim.22782

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**. Associated Schools of Construction. 2015.

IRIZARRY, J.; GHEISARI, M.; WALKER, B. N. Usability assessment of drone technology as safety inspection tools. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 17, n. 12, p. 194-212, 2012.

Irizarry, J., and Johnson, E. N. **Feasibility study to determine the economic and operational benefits of utilizing unmanned aerial vehicles (UAVs)**, Georgia Institute of Technology, Atlanta. 2014.

IRIZARRY, J.; COSTA, D.B.; KIM, S. **Evaluation of Unmanned Aerial Systems in Construction Safety Application: A Case Study at Unilever Manufacturing Facility in Independence, MO**. Final Report. Atlanta: Georgia Institute of Technology, School of Building Construction. 2015.

- IRIZARRY, J.; COSTA, D.B. Exploratory Study of Potential Applications of Unmanned Aerial Systems for Construction Management Tasks. **Journal of Management in Engineering**, 2016
- IROSHANA, Udaraka; FRANCIS, Mathusha; GAMAGE, Shanika Vidana. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Technology Based Safety Monitoring for Expressway Construction Projects. **The 54th International Conference of the Architectural Science Association**, [s. l.], 2020.
- JEELANI, Idris; GHEISARI, Masoud. Safety challenges of UAV integration in construction: conceptual analysis and future research roadmap. **Safety Science**, [s. l.], v. 144, 2021.
- KIM, S.; IRIZARRY, J. Exploratory study on factors influencing UAS performance on Highway construction projects: as the case of safety monitoring systems. In: Conference on Autonomous and Robotic Construction of Infrastructure, Ames, 2015. **Proceedings...**
- KIM, S.; IRIZARRY, J.; COSTA, D.B. Potential factors influencing the performance of unmanned aerial system (UAS) integrated safety control for construction worksites. In: **Construction Research Congress 2016**. 2016. p. 2614-2623.
- KIM, S.; IRIZARRY, J.; COSTA, D.B. Field test-based UAS operational procedures and considerations for construction safety management: a qualitative exploratory study. **International Journal of Civil Engineering**, v. 18, n. 8, p. 919-933, 2020.
- KIM, Seungho; KIM, Sangyong. Opportunities for construction site monitoring by adopting first person view (FPV) of a drone. **Smart Structures Systems**, [s. l.], v. 21, n. 2, p. 139-149, 2018.
- LISBOA, D.; SENA, A. B.; AGUIAR, A. B.; BARROSO, E.; FERREIRA, M. Utilização do VANT para inspeção de segurança na construção de uma avenida em Belém-PA. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Anais... Pará: Universidade da Amazônia**. 2018. p. 1-9.
- MARTINEZ, Jhonattan G.; GHEISARI, Masoud; ALARCÓN, Luis F. UAV Integration in Current Construction Safety Planning and Monitoring Processes: Case Study of a High-Rise Building Construction Project in Chile. **Journal of Management in Engineering**, [s. l.], v. 36, n. 3, p. 1-15, 2020.
- MARTINEZ, Jhonattan G. *et al.* ISafeUAS: An unmanned aerial system for construction safety inspection. **Automation in Construction**, [s. l.], v. 125, 2021.
- MELO, R. R. S.; COSTA, D. B.; ÁLVARES, J. S. Diretrizes para o uso de Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) Para Inspeção de Segurança em Canteiros de Obra. **Tecnologia para canteiro de obras sustentável**, 2017.
- MELO, Roseneia et al. Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. **Safety Science**, [s. l.], v. 98, p. 174-185, 2017.
- MOSLY, I. 2017. Applications and Issues of Unmanned Aerial Systems in the Construction Industry. **International Journal of Construction Engineering and Management**, 6(6): 235–239.

MOUD, H.I. et al. Qualitative assessment of indirect risks associated with Unmanned Aerial Vehicle flights over construction job sites. In: **Computing in Civil Engineering 2019: Smart Cities, Sustainability, and Resilience**. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2019. p. 83-89.

MOUD, H. I. et al. Quantitative Assessment of Proximity Risks Associated with Unmanned Aerial Vehicles in Construction. **Journal of Management in Engineering**, v. 37, n. 1, p. 04020095, 2020.

PARENTE, D. C. **Utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT) na identificação de resíduos de construção civil (RCC) dispostos em locais inadequados**. 2016. 78f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2016.

REY, Rafaela Oliveira; COSTA, Dayana Bastos; MELO, Roseneia. Design and implementation of a computerized safety inspection system for construction sites using UAS and digital checklists – Smart Inspects. **Safety Science**, [s. l.], v. 143, 2021.

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

SALGADO NETO, A.; CALDEIRA, N. L. FARIA, M. S. P. **Estudo de caso-análise de imagens geradas por Vant (Drone) para o monitoramento e controle do avanço de obras de infraestrutura**. Monografia. UNISOSIESC. Blumenau. P. 27. 2021.

SONG, Z.; ZHANG, H.; WANG, Y. Unmanned aerial vehicles rapid delivery routing of the emergency rescue in the complex mountain region. In: **2017 13th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)**. IEEE, 2017. p. 346-349.

UMAR, Tariq. Applications of drones for safety inspection in the Gulf Cooperation Council construction. **Engineering, Construction and Architectural Management**, [s. l.], 2020.

WANG, D.; XUE, X.; CHEN, Z. Application of UAVs for Construction Site Safety Management. In: **ICCREM 2016: BIM Application and Off-Site Construction**. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2017. p. 362-366.

YI, W.; SUTRISNA, M. Drone scheduling for construction site surveillance. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 36, n. 1, p. 3-13, 2021.

ZHAO, Y.; MA, J.; LI, X.; ZHANG, J. Saliency detection and deep learning-based wildfire identification in UAV imagery. **Sensors**, v. 18, n. 3, p. 712, 2018.

ZHOU, Z.; IRIZARRY, J.; LI, Q. Applying advanced technology to improve safety management in the construction industry: a literature review. **Construction Management and Economics**, v.31, n.6, p. 606-622, 2013