ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

# Comparação de diferentes abordagens na aferição da evolução física de obras com o uso do RPAS

## Comparison of different approaches for measuring the physical evolution of construction using RPAS

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

**Resumo**

O relativo baixo custo de aquisição, a possibilidade de obtenção de imagens em perspectivas inviáveis ao observador no nível do solo e uma mínima interferência na dinâmica de construção e execução de obras são algumas das características no uso de Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)/Drone que tem aumentado gradualmente sua presença nos canteiros de obras. Diante de diferentes possibilidades de abordagem para o uso no monitoramento da evolução física de empreendimentos, o objetivo do presente trabalho é identificar, por meio de mapeamento sistemático de literatura, os diferentes níveis de abordagem do uso da ferramenta, suas tecnologias embarcadas e as diferentes características ligadas ao seu uso. Os resultados obtidos e suas principais contribuições relacionadas identificam tendências de uso e sinalizam que as mais diversas tecnologias associadas ao uso do RPAS, entre elas o uso do BIM, fotogrametria e sensores do tipo LiDAR (Light Detection and Ranging), necessitam do amparo de uma diversa infraestrutura para obtenção, transmissão, processamento e armazenamento digital.

Palavras-chave: UAV. Construção Civil. Monitoramento. RPAS. Comparativo.

**Abstract**

*The relative low acquisition cost, the possibility of obtaining images from perspectives that are unfeasible for the observer at ground level and minimal interference in the dynamics of construction and execution of works are some of the characteristics of using Remotely Piloted Aircraft System (RPAS)/Drone which has gradually increased its presence in construction sites. Given different possibilities of approach for use in monitoring the physical evolution of enterprises, the objective of the present work is to identify, through systematic literature mapping, the different levels of approach to the use of the tool, its embedded technologies and the different characteristics associated with its use. The results obtained and their main related contributions identify usage trends and indicate that the most diverse technologies associated*

Como citar:
AGOSTINI, H.L.; HASHISUME, S.H; OLIVIERE, H. Comparação de diferentes abordagens na aferição da evolução física de obras com o uso do RPAS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

*with the use of RPAS, including the use of BIM, photogrammetry and LiDAR-type (Light Detection and Ranging) sensors, require the support of a diverse infrastructure to digital acquisition, transmission, processing and storage.*

*Keywords: UAV. Civil Construction. Inspection. RPAS. Comparative.*

## INTRODUÇÃO

Popularmente conhecido como “drones” (zangão, traduzido do inglês, em alusão ao som emitido pelo equipamento), os equipamentos remotamente pilotados são também conhecidos por UAV / VANT (*Unmanned Aerial Vehicle* / Veículo Aéreo Não Tripulado), RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*). Embora o termo UAV se apresente como o mais utilizado no meio acadêmico, o termo VANT é considerado obsoleto pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI) [1]. O termo RPAS (relacionado ao sistema controle aeronave) e RPA (relacionado à aeronave), são os referenciados na instrução ICA 100-40, “Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro” [2]. Os termos, embora similares, possuem terminologia diferente de acordo com o contexto, peso e país referenciado [3].

O sistema de captura de informações RPAS pode ser utilizado em praticamente todas as fases de execução de uma obra, desde o reconhecimento do terreno até a finalização de acabamentos externos [4]. O monitoramento do progresso de obra, juntamente com o mapeamento e levantamento do local de obra e o planejamento do local de construção, foram identificados em pesquisa realizada nos Estados Unidos como as áreas mais importantes na aplicação do RPAS na construção - o uso de câmeras visuais e a obtenção de imagens estão entre os principais tipos de dados adquiridos com o uso do RPAS [5]. Dentro de um canteiro de obras, a prática típica do acompanhamento do progresso de obra depende de relatórios regulares fornecidos pelos profissionais que executam a construção, envolvendo intensa coleta manual de dados que acarretam frequentes erros de transcrição ou de obtenção de dados. Neste sentido, o acompanhamento do progresso da obra é limitado quanto a sua precisão, objetividade e rapidez [6]. Neste contexto o uso do RPAS emerge como uma ferramenta de suporte para aplicação no monitoramento do progresso do projeto [7] [8].

Contrastando com o ambiente industrial típico, as etapas que compõem os serviços no canteiro de obras são extremamente dinâmicas. A forte dependência entre etapas únicas dos processos, uma ausência de sequências estritas entre atividades como na produção por linha de montagem e condições de contorno com maior grau de imprevisibilidade (fatores como clima, mão de obra e materiais) torna o desencadeamento de cada obra uma sequência exclusiva [9].

Vanderhorst *et al.* (2019) [3] classificam a implementação do RPAS considerando cinco aspectos, identificando na literatura uma tendência de ocorrência do crescimento do RPAS em cinco estágios. Um primeiro estágio está ligado a coleta de dados visuais e geométricos com o uso de sensores, câmera e LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Uma segunda etapa mostra o uso de sensores amplificados e diferenciados da primeira etapa, como para medidas de ruídos sonoros e gases. Um terceiro estágio vai além

com a programação do RPAS, envolvendo a simulação do uso da ferramenta. Um quarto estágio remete a disponibilização de softwares e plataformas para complementar respostas obtidas com o RPAS na criação de modelos 3D. Finalmente, no último estágio, todo o sistema criado e testado será incorporado nas escolas e universidades com o objetivo de encorajar os empregos do amanhã.

O monitoramento do progresso do projeto pode ser realizado de distintas maneiras nos diferentes estágios propostos por Vanderhorst [3]. Neste contexto, o objetivo do presente artigo é identificar diferentes abordagens realizadas com o uso do RPAS para o monitoramento de obras e realçar características comparativas.

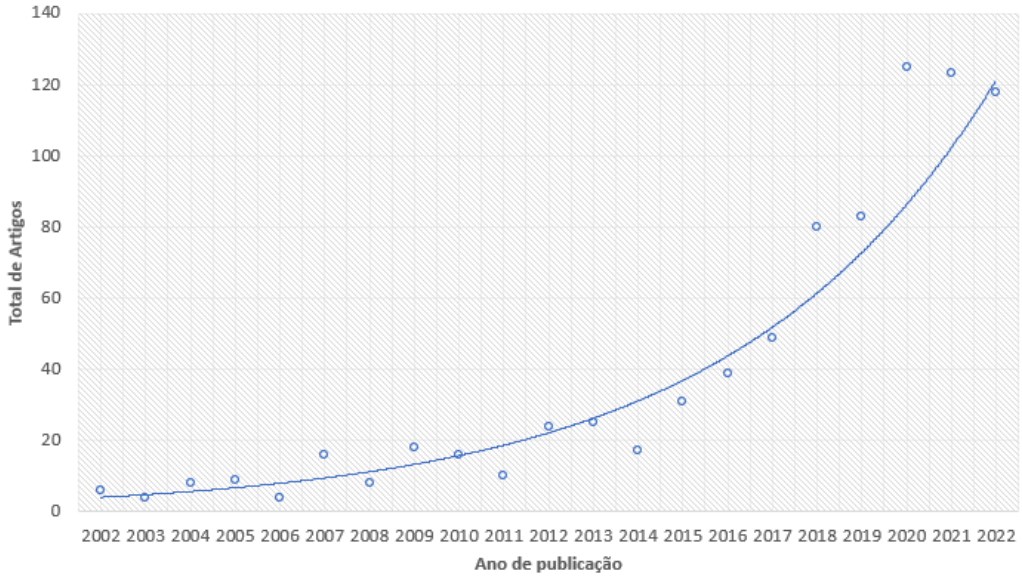
## MÉTODO

O método de pesquisa adotado foi o mapeamento sistemático de literatura (MSL). A escolha dos termos de pesquisa/busca foi realizada sob o método PICO (*Population*, *Intervention*, *Comparison* and *Outcomes*), onde é estabelecida uma questão tema com base em termos definidos por seu assunto (*population*), intervenção (*intervention*), equiparação (*comparison*) e efeito (*outcomes*), em abordagem inicialmente desenvolvida para a medicina baseada em evidências e adaptada para o contexto de pesquisa pretendido [10].

Os termos escolhidos "assunto" as expressões "*UAV*", "*UAS*", "*Drone*" e "*RPAS*", separadas pelo operador "*OR*" e os termos de "intervenção" e "comparação" unificados na expressão relacionada a "*construction*" e como "efeito" o termo "*control*". Após a escolha dos termos, a formulação dos operadores "AND" limita a pesquisa e seleciona os artigos que possuem todos os termos PICO [11].

A pesquisa retornou um total de 960 artigos na base SCOPUS. As publicações relacionadas ao tema têm surgimento no início dos anos 2000, com forte incremento principalmente nos últimos 5 anos, conforme destaca a Figura 4. A fase que compreende os anos de 2012 a 2018 pode ser considerada como um período exploratório, refletindo uma investigação inicial. A partir de 2018 o número de artigos relacionados passa a se tornar significativo, fator indicativo de que os estudos com RPAS passaram a se tornar uma área de pesquisa independente [12].

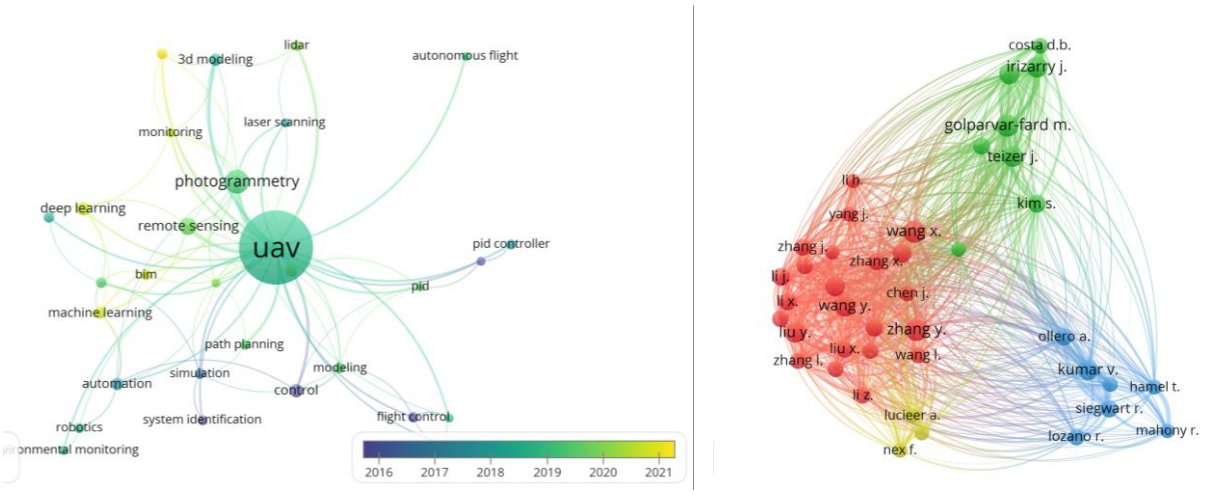
**Figura 1: Evolução de artigos relacionados ao tema nos últimos 20 anos**




Fonte: os autores.

A amostra de 960 artigos obtidos foi também submetida a análise de coocorrência e cocitação. A análise de coocorrência de palavras-chaves é realizada para identificar temas e tópicos de discussão. Após um agrupamento de termos sinônimos, o tamanho do nó indica o número de citações do termo palavra-chave e a ligação (*link*) entre nós representa a correlação entre os termos [13]. A Figura 2 (à esquerda) apresenta o gráfico dos termos com maior reincidência, onde é possível identificar os termos chaves com maior recorrência associados aos termos pesquisados, bem como associar o uso de cada termo ao ano de concentração das pesquisas associadas.

**Figura 2: Rede de coocorrência de palavras chaves (à esquerda) e rede com os principais autores cocitados (à direita)**




Fonte: os autores.

A rede ilustrada na Figura 2 (à esquerda) é detalhada na Tabela 1, onde cada coluna representa: “Conj” - conjunto (cluster) da palavra-chave, “Nome do conjunto” -

principal palavra-chave do conjunto de palavras-chave, “Palavra-chave”, Ligações – links, “Ocorrências”, “Ano publicação (média)” – ano médio de publicação dos artigos, “Citações (média)” – número médio de citações recebida pelo artigo em que ocorre uma palavra-chave e “Citações (média normalizada)” – número médio normalizado de citações recebidas pelos artigo em que ocorre uma palavra-chave.

**Tabela 1: Principais palavras chaves em artigos associados ao tema de uso de RPAS no monitoramento da construção**

| Conj. | Nome do conjunto | Palavra-chave | Ligações | Ocor. | Ano publicação (média) | Citações (média) | Citações (média normalizada) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | Remote sensing | Remote sensing | 7 | 18 | 2020 | 15,72 | 1,79 |
| | | Modeling | 7 | 7 | 2019 | 9,71 | 1,14 |
| | | Construction | 6 | 9 | 2020 | 15,11 | 2,42 |
| | | PID | 5 | 5 | 2019 | 2,60 | 0,32 |
| | | Control | 4 | 11 | 2015 | 14,18 | 0,67 |
| B | Deep learning | Deep learning | 6 | 11 | 2021 | 10,18 | 2,21 |
| | | Machine learning | 6 | 8 | 2021 | 3,63 | 0,60 |
| | | Computer vision | 6 | 7 | 2019 | 12,71 | 1,80 |
| | | BIM | 5 | 7 | 2021 | 11,71 | 1,14 |
| | | Image processing | 3 | 7 | 2018 | 21,00 | 1,73 |
| C | UAV | UAV | 29 | 316 | 2019 | 13,09 | 1,36 |
| | | Photogrammetry | 10 | 33 | 2019 | 26,18 | 1,33 |
| | | Laser Scanning | 4 | 5 | 2018 | 128,00 | 3,27 |
| | | LiDAR | 3 | 6 | 2020 | 7,33 | 1,06 |
| D | Progress monitoring | Progress monitoring | 8 | 5 | 2020 | 8,00 | 0,78 |
| | | Simulation | 6 | 7 | 2017 | 7,86 | 0,56 |
| | | Path planning | 3 | 6 | 2019 | 8,17 | 0,75 |
| | | System identification | 2 | 6 | 2011 | 10,83 | 0,70 |
| E | 3d modeling | 3d modeling | 6 | 9 | 2018 | 9,78 | 1,11 |
| | | Monitoring | 6 | 5 | 2020 | 4,20 | 0,59 |

Fonte: os autores.

A análise de cocitação de autores citados é realizada para identificar os autores que receberam o maior número de citações na amostra obtida de artigos e o agrupamento de relações, onde o tamanho do nó representa o número de citações por autor e a espessura da ligação representa a colaboração entre os autores. A Figura 2 (à direita) ilustra o agrupamento de citação a autores. Foram destacados no gráfico os autores que acumulam pelo menos 45 citações, resultando em 41 autores agrupados em 4 conjuntos. A análise de referências e autores compartilhados por cientistas na construção das pesquisas permite identificar uma sobreposição na identidade metodológica e/ou teórica desses cientistas, bem como visualizar a estrutura intelectual, social e cognitiva na perspectiva deles próprios. A similaridade do ambiente científico em que atuam estes pesquisadores é também evidenciada neste processo [14].

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme identifica-se na Tabela 1, os termos de pesquisa voltados ao monitoramento da construção identificam-se mais aderentes nos conjuntos de agrupamento “D” (*progress monitoring*) e “E” (*3d modeling*). Identificados inicialmente 86 trabalhos relacionados a estes grupos, 20 artigos restaram após a exclusão de temas diversos principalmente relacionados a obras extensas, meio ambiente/agricultura e desenvolvimento de controles relacionados ao RPAS.

A exploração dos artigos identificados sugere que o uso do RPAS e suas tecnologias associadas pode ser atualmente representado e classificado em quatro níveis de uso. Estes níveis, numa ordem gradativa de complexidade do uso, podem ser descritos conforme passamos a discutir.

### RPAS ASSOCIADO À OBTENÇÃO DE IMAGENS

O emprego do RPAS, no uso de suas funcionalidades mais básicas, está associado à obtenção de imagens. Este uso é amplamente utilizado para o auxílio de atividades relacionadas com a inspeção e manutenção de pontes, inspeção de fachadas, obras de infraestrutura e segurança no trabalho, para citar algumas de suas aplicações com o uso da imagem como produto obtido pelo RPAS. Outras tecnologias associadas ao equipamento são também estudadas nestas áreas, mas o foco em sua funcionalidade mais básica não reduz o uso ou limita a complexidade e extensão do produto que pode ser obtido.

Pela sua simplicidade, o acesso às funcionalidades básicas promovidas pelo RPAS junto ao canteiro de obras torna sua escolha como a de maior potencial de uso. Além das questões técnicas que podem ser auxiliadas com o uso das imagens, o interesse comercial dos registros para efeito de marketing e divulgação do produto também devem ser considerados.

Em aprimoramento, o uso de reconhecimento de imagens por meio de redes neurais convolucionais, possibilita a detecção e classificação de objetos específicos (formas, por exemplo) com o auxílio de IA (Inteligência Artificial - *machine learning*), tendo sido obtidos ótimos resultados para a detecção de objetos isolados em fotografias [15].

### RPAS PARA CONFECÇÃO DE MODELOS A PARTIR DE NUVENS DE PONTOS FOTOGRAMÉTRICOS

O mapeamento digital 3D consiste em diferentes métodos para a documentação de estruturas existentes, onde se tem destacado, para a digitalização tridimensional por meio de nuvens de pontos, o uso do LS *(Laser Scanner)* e a fotogrametria como tecnologias em destaque, sendo esta segunda tecnologia a de maior utilização no Brasil, devido aos custos envolvidos serem consideravelmente mais baixos [16]. Interesse comum de comunidades de fotogrametria e LiDAR estão voltados à fusão de imagens, asseverando-se que, qualquer que seja a disciplina escolhida, o objetivo é a rápida coleta de dados de nuvens de pontos de precisão e a extração do conteúdo de informações 3D desses dados [17].

O uso da técnica também tem sido explorado para o registro da progressão do avanço de obras. No monitoramento do progresso de construção, nuvens de pontos obtidas em diferentes momentos podem ser alinhadas para o registro e comparação entre diferentes estados de um projeto de construção ou para encontrar diferenças entre dados projetados e executados. Esta diferença pode ser ilustrada diretamente no modelo espacial produzido, que diferencia partes mantidas e que sofreram alterações, e combinado com o auxílio de algorítmicos estatísticos, reproduzir o grau de mudança de cada parte da construção [18]. A sensibilidade da mudança a detecção do modelo é subordinada à resolução do modelo produzido [19].

Quase sempre associada à necessidade de um programa auxiliar, e independentemente da solução comercial preferida, a captura e processamento de imagens obtidas com o uso de RPAS apresenta o desafio de mitigação de problemas correlacionados. Huang *et al.* (2021) [18] citam como três problemas essenciais a (i) necessidade de alinhamento entre os modelos - de nuvem de pontos ou BIM *(Building Information Modeling)* - em um mesmo sistema de coordenadas, processo dificultado em ambientes urbanos complexos, (ii) a desarmonia entre a densidade de nuvens de pontos obtidas pode tornar ineficazes as características obtidas em cenários de construção, ambiente que tem sua complexidade agravada com a existência de objetos temporários pertencentes a diversas categorias processo de construção e (iii) uma inerente limitação de observação, com a existência de oclusões ou áreas invisíveis, independente da técnica adotada (fotogrametria ou LS).

Além destas questões, a qualidade do modelo obtido no processo depende ainda de questões associadas ao posicionamento da câmera do RPAS (vertical ou obliqua), iluminação/reflexo/sombra, condições de luz (características meteorológicas ou locais), textura de elementos (uniformidade do concreto, por exemplo) e a existência de pontos cegos (relativo a limitações de proximidade do RPAS com o local inspecionado) [20]. Relacionado com o último ponto, referente a proximidade do RPAS com local inspecionado, sugere-se a ampliação do conjunto de fotos ou o uso combinado da ferramenta RPAS com o TLS *(Terrestrial Laser Scanners)* [21].

A solução de confecção de modelos a partir de nuvens de pontos fotogramétricos com o uso do RPAS possibilita a obtenção de resultados muito próximos aos previstos em projeto, fator indicativo da precisão do modelo geométrico gerado. Os custos destes processos, no entanto, apresentam-se na ordem de quinze vezes superiores, comparando-se o custo de geração de modelo à tarifa cobrada para o processo convencional de vistoria [21].

Para a confecção de modelos a partir de nuvens de pontos (obtidas por processos fotogramétricos o com o uso de LS), outros desafios se somam. Superadas as dificuldades relacionadas à geração do modelo, todos os objetos associados recebem o mesmo peso no cálculo do progresso reconhecido, independentemente do valor associado à sua execução ou a complexidade de execução do objeto [6].

RPAS ASSOCIADO A CONFECÇÃO DE MODELOS A PARTIR DE NUVENS DE PONTOS FOTOGRAMÉTRICOS E ASSOCIADO A MODELOS BIM

Embora seja possível construir em BIM um modelo completo baseado em um projeto de uma edificação (uma condição conforme projeto), este modelo geralmente não representa o estado da edificação como ela foi realmente construída (condição *as-built*) ou como existe atualmente (condição *as-is*). Estes modelos são criados principalmente por intermédio de processos manuais [22].

Outra metodologia empregada no monitoramento do progresso de obras com o uso do RPAS consiste na criação de modelos tridimensionais e sua comparação com modelos criados em BIM. As imagens estáticas extraídas, filtradas, ajustadas (*Bundle Adjustment*) e um modelo 3D da construção é gerado com a utilização de softwares específicos. Este modelo pode ainda ser alinhado com a integração do cronograma de planejamento da construção, gerando um modelo 4D. O progresso de construção pode então ser visualizado por meio de codificação de cores dos elementos de construção no modelo 3D [23].

A integração do RPAS com o modelo BIM pode reduzir significativamente o esforço necessário nos procedimentos tradicionais de monitoramento e relatórios de construção, resultando em melhores operações, planejamento e efetivos ajustes nos locais de obra [24]. No entanto, O processo usado para comparar o modelo de nuvem de pontos extraídas com o modelo BIM planejado necessita ser automatizado, apresentando-se trabalhoso e demorado se conduzido manualmente em um passo a passo [25].

Embora a adoção de softwares específicos possa minimizar o tempo e o esforço de sobrepor modelos, a inspeção final e comparação visual ainda são feitas de forma usual. Para uma maior automatização, o BIM necessitaria classificar os elementos do modelo da nuvem de pontos (que na maioria dos casos é importado como pano de fundo em um modelo BIM, onde o usuário traça manualmente geometrias 3D sobre o modelo digitalizado). O processo, adequado para o desenvolvimento de modelos 3D precisos, é complicado e ineficiente para o monitoramento de construção [25]. Autores, em complemento, registram que o monitoramento dos locais de construção apresenta vários problemas, como a sensibilidade de métodos fotogramétricos a superfícies delgadas e janelas [26].

RPAS TOTALMENTE INTEGRADO A OUTRAS TECNOLOGIAS (INTERVENÇÃO MINIMA DE PROCESSOS MANUAIS)

A integração de processos e automação do monitoramento da construção requer o domínio de três diferentes aspectos: a existência de um modelo BIM 3D semanticamente rico, um conjunto de observações detalhadas e precisas, provenientes da aquisição periódica do local obtidas por meio de LiDAR, UAV ou câmeras portáteis e o processo de análise, que associa cada elemento do modelo BIM de referência às interpretações de suas observações correspondentes, associando os parâmetros dos objetos [27].

Neste contexto de aplicação são utilizados elementos complementares para automatização de aferições de serviços executados e o uso do BIM para captura, analisar e documentar o status do avanço de serviços no canteiro de obras. Elementos adicionais, como *blockchain*, podem ser inseridos no processo para a validação de transações realizadas dentro de Contratos Inteligentes (*Smart Contracts*). O uso do BIM neste nível de aplicação tem uma função dupla: dar condição para que aconteçam as alterações de *blockchain* com base nas alterações do avanço físico de obra e introduzir objetividade à avaliação do trabalho. Os pagamentos baseados em Contratos Inteligentes estão ainda em estágio inicial de desenvolvimento e longe da adoção em massa [28].

A aferição de áreas não visíveis ao uso de RPAS pode ser alcançada com a proposição do uso simultâneo desta tecnologia com robôs para o registro de atividades internas e ao nível do piso com o uso da tecnologia LiDAR [29].

COMPARATIVO DOS DIFERENTES NIVEIS DE USO DE TECNOLOGIAS ASSOCIADAS

O Quadro 1 apresenta um resumo comparativo de expectativas (e/ou) características dos diferentes níveis de uso de tecnologias associadas ao monitoramento com uso de RPAS. Com base nas referências bibliográficas e experiência dos autores, cada uma das características foi classificada dentro de cada uma das categorias. O sinal de mais (+), variando de 1 a 4 em sua quantidade, ilustra uma diferença de intensidade dentro das características.

**Quadro 1: Comparativo de expectativas/características dos diferentes níveis de uso de tecnologias associadas ao monitoramento com uso de RPAS**

| **Elemento** | **Característica** | **Níveis de uso do RPAS** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **Obtenção de imagem** | **Modelos fotogra-métricos** | **Modelos fotogramétricos e uso do BIM** | **"Totalmente integrado" a outras tecnologias** |
| Quanto ao usuário/ equipe | Necessidade de intervenções de interpretação adicionais | ++++ | +++ | ++ | + |
| Quanto ao equipamento (RPAS) | Demanda por tempo de voo | + | ++++ | ++ | ++ |
| Necessidade de estrutura adicional | Custos para processamento | + | ++ | +++ | ++++ |
| | Demanda por processamento | + | ++ | +++ | ++++ |
| | Demanda por capacidade de armazenamento de arquivos | + | ++ | +++ | ++++ |

Fonte: os autores.

O comparativo é uma representação relativa de cada uma das características, comparadas de forma isolada. O contexto do nível de uso do RPAS a ser adotado deve considerar o desempenho do conjunto de características, seu estágio de

amadurecimento, sua adequação com a infraestrutura de hardware e software disponível e sua relação com demais demandas envolvidas no processo. Em referência aos cinco estágios classificados por Vanderhorst, explorados anteriormente, observa-se o primeiro nível de uso inserido no primeiro e os demais no quarto estágio.

O uso de RPAS para a obtenção de imagens apresenta uma maior necessidade de intervenção e interpretação complementares perante demais usos. A demanda por tempo de voo é maior para o comparativo entre modelos fotogramétricos perante a necessidade de dois momentos distintos de voo para comparação. A comparação entre modelo fotogramétrico e o uso de BIM demandara apenas um único voo (mesma situação esperada para os modelos totalmente integrados), ponderando-se que a realização deste único voo demanda um tempo maior para a realização do levantamento que a obtenção simples de imagens.

Quanto à estrutura complementar necessária para cada nível de uso, os custos de processamento são crescentes conforme a demanda de processamento requisitada por cada nível, decorrente da utilização de softwares complementares para a construção dos modelos tridimensionais e controle dos protocolos de controle. A demanda por processamento (hardware envolvido) e a demanda por capacidade de armazenamento de arquivos (maior quantidade de arquivos processados e produzidos a partir de imagens) também possui o mesmo aspecto de aumento gradual.

## CONCLUSÃO

O estudo identificou 4 níveis associadas a diferentes abordagens de uso do RPAS, destacando 5 de suas principais características e classificando-as relativamente ao uso e desempenho esperado. O acesso a um sistema comparativo permite uma melhor previsão de recursos e expectativa de produtos a serem obtidos conforme a estratégia pretendida.

No monitoramento do progresso de obras com o uso do RPAS, as características identificadas em cada estratégia transparecem condições a serem exploradas ou mitigadas, conforme a necessidade do produto pretendido dentro do monitoramento da progressão da obra. Observou-se que diferentes níveis de uso associados a diferentes estágios de implementação do RPAS apresentam características distintas de abordagem, fator que demanda uma criteriosa escolha da abordagem requerida, mesmo quando relacionada a um mesmo estágio de implementação.

O presente estudo comparativo foi obtido através da busca de informações em artigos diversos relacionados ao tema, mas que não necessariamente preservam as mesmas características de pesquisa ou objetivo proposto. Embora este ponto não tenha sido identificado como uma barreira para o estudo proposto, a utilização do RPAS no monitoramento do progresso de obras apresenta características intrínsecas ao seu uso. Como proposta de estudos futuros, a exploração de estudos de casos, restritos às características da classificação dos níveis de uso identificados no presente trabalho, pretende identificar estes pontos.

## REFERÊNCIAS


[1] BRASIL. Ministério da Defesa. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Qual a diferença entre drone, VANT e RPAS? 2019.

[2] BRASIL. Ministério da Defesa. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. ICA 100-40/2023. 05 2023.

[3] VANDERHORST, H. R.; 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, 09 2019.

[4] SABO, A.; KULJIC, B.; SZAKÁLL, T. Practical application of the drone technology in civil engineering. In: **Science in Practice Conference**. 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**, v. 26, 2021.

[6] TURKAN, Y.; BOSCHE, F.; HASS, C. T.; HASS, R. "Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies," Automation in Construction, vol. 22, pp. 414-421, 2012. et al. Automated progress tracking using 4D schedule and 3D sensing technologies. **Automation in construction**, v. 22, p. 414-421, 2012.

[7] IRIZARRY, J.; COSTA, D. B. Exploratory study of potential applications of unmanned aerial systems for construction management tasks. **Journal of Management in Engineering**, v. 32, n. 3, p. 05016001, 2016.

[8] AGOSTINHO, H. L.; HASHIZUME, S. H.; OLIVIERI, H. "Aferição de obras habitacionais com o uso de RPAS/Drones," ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19, pp. 1-10, **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2022.

[9] TUTTAS, S.; BRAUN, A.; BORRMANN, A.; STILLA, U. Acquisition and consecutive registration of photogrammetric point clouds for construction progress monitoring using a 4D BIM. **PFG–journal of photogrammetry, remote sensing and geoinformation science**, v. 85, n. 1, p. 3-15, 2017.

[10] PETTICREW, M.; ROBERTS, H. **Systematic reviews in the social sciences**: A practical guide. John Wiley & Sons, 2008.

[11] PAI, M.; McCULLOCH, M.; GORMAN, J. D.; PAI, N.; ENANORIA, W.; KENNEDY, G.; THARYAN, P. ; COLFORD Jr, J. M. Clinical Research Methods. **The National Medical Journal of India**, v. 17, n. 2, 2004.

[12] ELGHAISH, F.; MATARNEH, S.; TALEBI, S.; KAGIOGLOU, M.; HOSSEINI, M. R.; ABRISHAMI, S. Toward digitalization in the construction industry with immersive and drones technologies: a critical literature review. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 10, n. 3, p. 345-363, 2021.

[13] VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **VOSviewer Manual.** Leiden, 2023.

[14] GRÁCIO, M. C. C. Acoplamento bibliográfico e análise de cocitação: revisão teórico-conceitual. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 21, n. 47, p. 82-99, 2016.

[15] JAHR, K.; BRAUN, A.; BORRMANN, A. Formwork detection in UAV pictures of construction sites. In**: eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction**. CRC Press, 2018. p. 265-271.

[16] VIZIOLI, S. H. T.; SILVA, G. R. O modelo tridimensional e a Arquitetura: do físico ao digital. Risco Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo (Online), v. 19, p. 79-95, 2021.

[17] BASGALL, P. L.; KRUSE, F. A.; OLSEN, R. C. Comparison of lidar and stereo photogrammetric point clouds for change detection. In: **Laser Radar Technology and Applications XIX; and Atmospheric Propagation** XI. SPIE, 2014. p. 214-227.

[18] HUANG, R.; XU, Y.; HOEGNER, L.; STILLA, U. Semantics-aided 3D change detection on construction sites using UAV-based photogrammetric point clouds. **Automation in Construction**, v. 134, p. 104057, 2022.

[19] LEE, J. H.; PARK, J. H.; JANG, B. T. Progress Monitoring system based on Volume Comparison for the Construction Site. In: **2019 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)**. IEEE, 2019. p. 986-989.

[20] 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.

[21] GUIMARÃES, A, A. O.; CESAR, C.G.; MELLO, C.C.S.; OLIVEIRA, R.D. Avaliação da eficácia da aplicação da aerofotogrametria no AsBuilt de edificações para vistorias de licenciamento urbanístico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 13, 2023, Aracaju. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023.

[22] TANG, P.; HUBER, D.; AKINCI, B.; LIPMAN, R.; LYTLE, A. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques. **Automation in Construction**, v. 19, n. 7, p. 829-843, 2010.

[23] BOGNOT, J. R.; CANDIDO, C. G.; BLANCO, A. C.; MONTELIBANO, J. R. Y. Building construction progress monitoring using unmanned aerial system (UAS), low-cost photogrammetry, and geographic information system (GIS). **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 4, p. 41-47, 2018.

[24] ANWAR, N.; IZHAR, M. A.; NAJAM, F. A. Construction monitoring and reporting using drones and unmanned aerial vehicles (UAVs). In: **The Tenth**

**International Conference on Construction in the 21st Century (CITC-10)**. 2018. p. 2-4.

[25] OUDJEHANE, A.; MOEINI, S.; BAKER, T. Construction Project Control and Monitoring with the Integration of Unmanned Aerial Systems with Virtual Design and Construction Models. **Canadian Society for Civil Engineering**: Vancouver, BC, Canada, v. 1, p. 381-406, 2017.

[26] BRAUN, A.; TUTTAS, S.; STILLA, U.; BORRMANN, A. Process-and computer vision-based detection of as-built components on construction sites. In: **Proc. of the 35nd ISARC 2018**. 2018.

[27] BASSIER, M.; VERMANDERE, J.; DE WINTER, H. Linked building data for construction site monitoring: A test case. In**: XXIV ISPRS Congress Imaging Today, Foreseeing Tomorrow, Commission II**. Copernicus GmbH, 2022. p. 159-165.

[28] HAMLEDARI, H.; FISCHER, M. Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies. **Automation in Construction**, v. 132, p. 103926, 2021.

[29] LEE, J. H.; PARK, J. H.; JANG, B. T. Design of robot based work progress monitoring system for the building construction site. In: **2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)**. IEEE, 2018. p. 1420-1422.