

**SB TIC
2019**

VIRTUALIZAÇÃO INTELIGENTE
NO PROJETO E NA CONSTRUÇÃO
2º Simpósio Brasileiro de Tecnologia
da Informação e Comunicação na
Construção
UNICAMP | 19 a 21 de agosto

TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA O CONTROLE DE QUALIDADE DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Emerging technologies for the quality control of Civil Construction

Gabriel Luiz Fritz Benachio

Universidade Federal do Paraná | Curitiba, PR | gabrielfbenachio@gmail.com

Maria do Carmo Duarte Freitas

Universidade Federal do Paraná | Curitiba, PR | carmemk2@gmail.com

Sergio Scheer

Universidade Federal do Paraná | Curitiba, PR | sergioscheer@gmail.com

RESUMO

Com o aumento de complexidade dos projetos e canteiros de obra, a tarefa de controle de qualidade se torna de extrema importância para garantir a qualidade desejada do produto final. Normalmente este controle é realizado manualmente por inspeções dentro do canteiro de obras ao final de cada etapa importante da construção, tornando-se uma tarefa que consome muito tempo e recursos. Dentro deste cenário, a Indústria da Construção Civil vem buscando o uso de tecnologias inovadoras para auxiliar a realização destas inspeções dentro do canteiro de obras. Este artigo discute o uso da Realidade Virtual e Realidade Aumentada, tecnologias de rastreamento em tempo real e veículos aéreos não tripulados (VANTs), também conhecidos como drones, mostrando como funcionam, seu estado de arte de publicações e as lacunas de pesquisa destas tecnologias dentro do campo de controle de qualidade da construção civil.

Palavras-Chaves: Controle de qualidade; Construção Civil; Realidade Virtual; RFID; Veículos aéreos não tripulados.

ABSTRACT

With the increasing complexity of projects and construction sites, the task of quality control of the construction becomes extremely important to guarantee the desired quality of the final product. Normally this control is carried out manually by inspections inside the construction site at the end of each important stage for the construction, becoming a task that consumes a lot of time and resources. From this scenario, the Civil Construction Industry has sought the use of innovative technologies to assist in carrying out inspections within the construction site. This article discusses the uses of Virtual Reality and Augmented Reality, real-time positioning technologies and unmanned aircraft (UAVs), also known as drones, showing how they work, the state of the art of publications and research gaps on the use of these technologies within of the construction quality control field.

Keywords: Controle de qualidade; Construção Civil; Realidade Virtual; RFID; Veículos aéreos não tripulados.

1 INTRODUÇÃO

Recentemente na construção civil existe um esforço para a melhoria da eficiência de diversas tarefas, como o controle de qualidade (KWON et al., 2014). Este é um processo que consome muito tempo e de difícil execução, devido a três principais fatores: (1) os padrões de qualidades para materiais e tarefas estão distribuídos em diferentes normas industriais ou nacionais; (2) dificuldade de identificar a responsabilidade na ocorrência de um acidente, devido ao grande número de partes interessadas; e (3) o foco de qualidade na construção civil normalmente é dado apenas ao produto final (CHEN; LUO, 2014). Diante destes problemas, a Indústria da Construção Civil tem voltado sua atenção para tecnologias inovadoras para inspeções dentro do canteiro de obras, como o uso da Realidade Virtual, o rastreamento em tempo real de materiais, sensores para obtenção de parâmetros de qualidade de materiais, entre outras (ASGARI; RAHIMIAN, 2017).

O objetivo deste artigo é explorar algumas tecnologias emergentes dentro da construção civil que auxiliam o processo de controle de qualidade de uma obra, fornecendo uma breve explicação da tecnologia e seu estado de arte de aplicações dentro do campo de controle de qualidade da construção civil, além de identificar as lacunas de pesquisas dentro destas tecnologias.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Realidade Virtual e realidade aumentada

Realidade virtual (RV) é uma simulação que tem o objetivo de gerar um ambiente imersivo em que os usuários possam vivenciar o mundo real em um ambiente criado e controlado digitalmente (LI et al., 2018). A realidade aumentada (RA) integra imagens de objetos virtuais com o mundo real, através da projeção destes protótipos virtuais para gerar uma cena aumentada (LI et al., 2018).

2.2 Tecnologias de rastreamento de posicionamento

O rastreamento do posicionamento pode ser feito de maneira global, com baixa precisão, como o sistema de GPS, ou de maneira interna no canteiro de obras, como o uso da radiofrequência (MA et al., 2018). O GPS (*Global Positioning System*) é um sistema de satélites que identifica o posicionamento do usuário em qualquer parte do mundo (VAHA et al., 2013). No caso da tecnologia de radiofrequência o posicionamento pode ser feito de duas maneiras: sistema baseado no modelo, em que a localização do objeto é obtida através da propagação de ondas de rádio e localização conhecida de sinais de luzes, e o sistema baseado no mapa, em que o mapa é construído primeiramente e com a obtenção dos sinais de luzes em locais conhecidos são utilizados algoritmos para calcular o posicionamento no mapa (WOODMAN; HARLE, 2009).

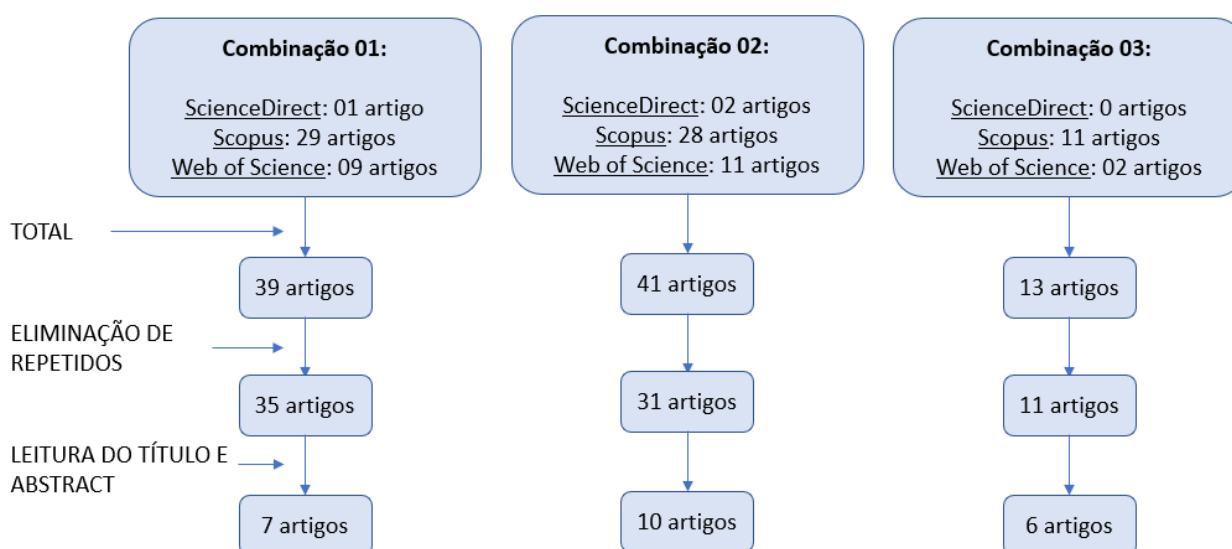
2.3 Veículos Aéreos não Tripulados

O termo de drones normalmente é utilizado para se referir aos Veículos Aéreos não Tripulados (VANT) ou *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), que são caracterizados por uma aeronave controlada por um piloto no solo (TATUM; LIU, 2017). Este tipo de aeronave pode possuir diversos formatos e características, de acordo com as tarefas que ele irá ser utilizado para executar (LIU et al., 2014).

3 MÉTODO

A intenção deste artigo é de fornecer uma visão global das publicações sobre o uso de tecnologias emergentes dentro da construção civil para auxiliar o controle de qualidade dentro do canteiro de obras. Diante disso foi escolhido realizar um levantamento do estado de arte de publicações neste assunto em três bases de artigos internacionais (*Science Direct, Scopus e Web of Science*).

Figura 1: Sequência de seleção de artigos



Fonte: Os autores.

O método utilizado se baseou na escolha de palavras-chaves relacionadas com cada uma das três tecnologias abordadas neste artigo e palavras-chaves relacionadas ao controle de qualidade da construção civil. A pesquisa foi limitada à presença destas palavras-chaves no título, *abstract* ou palavras-chaves dos

artigos. Após a pesquisa inicial foram excluídos os artigos repetidos. Na sequência foi a leitura do *abstract* de cada publicação, eliminando aquelas que não tinham relevância para este assunto. Por fim, os artigos restantes foram selecionados para esta pesquisa.

O Quadro 1 mostra as combinações de palavras-chaves utilizadas na pesquisa, enquanto a Imagem 1 mostra a sequência realizada para eliminação de artigos e a seleção final para este levantamento.

Quadro 2: Combinações de Palavras-Chaves

COMBINAÇÃO	PALAVRAS-CHAVES
01	"quality control" AND "construction" AND ("augmented reality" OR "virtual reality")
02	"quality control" AND "construction" AND "RFID"
03	"quality control" AND "construction" AND ("UAV" OR "drones")

Fonte: Os autores.

4 RESULTADOS

A Tabela 2 mostra todos os artigos utilizados nesta pesquisa, separados pelas tecnologias abordadas. Na sequência desta seção é realizado um breve resumo de cada artigo selecionado.

Quadro 2: Artigos selecionados para a pesquisa

Nº DE ARTIGOS	TECNOLOGIA	ARTIGOS
7	REALIDADE VIRTUAL E REALIDADE AUMENTADA	Siu e Lu (2011); Golparvar-Fard et al. (2011); Kwon et al. (2014); Chi et al. (2015); Tezel e Aziz (2017); Zhou et al. (2017) e Chalhoub et al. (2018)
10	TECNOLOGIAS DE RASTREAMENTO DE POSICIONAMENTO	Wang et al. (2007); Reisbacka et al. (2008); Wenfa (2008); Chae et al. (2010); Li et al. (2011); Hedayatnasab et al. (2011); Hu e Lu (2013); Sardroud (2013); Cai et al. (2014) e Su et al. (2014)
6	VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT)	Cho et al. (2014); Fang et al. (2016); McCabe et al. (2017); Entrop e Vasanev (2017); Zhang e Hu (2018) e Hamledari et al. (2018)

Fonte: Os autores.

4.1 Realidade Virtual e Realidade Aumentada

Siu e Lu (2011) estudaram o uso de técnicas de gerenciamento visual para auxiliar o controle do canteiro de obras. Golparvar-Fard et al. (2011) discutiram o desenvolvimento da RA em conjunto com BIM para a obtenção de uma chamada "D4 AR". Kwon et al. (2014) desenvolveram dois sistemas para o controle de qualidade, um utilizando combinações de fotografias reais da obra e o modelo 3D em BIM, e o outro desenvolvendo um aplicativo que utiliza a RA em conjunto com marcadores físicos na obra. Chi et al. (2015) desenvolveram uma estrutura de trabalho para garantir a qualidade da construção de uma usina de GLP através da RV. Tezel e Aziz (2017) estudaram o uso de técnicas de gerenciamento visual para auxiliar o controle do canteiro de obras das construções. Zhou et al. (2017) utilizaram a RA para controlar a geometria da ligação entre placas pré-moldadas na execução de um túnel. Chalhoub et al. (2018) pesquisaram sobre a precisão e acurácia dos sistemas de RV e RA dentro do canteiro de obras.

4.2 Tecnologias de rastreamento de posicionamento

Wang et al. (2007) desenvolveram e testaram uma estrutura de gerenciamento com uso de RFID para a produção de elementos pré-moldados. Reisbacka et al. (2008) estudaram a automação do controle de qualidade de peças de concreto através do uso da tecnologia de radiofrequência conectada à smartphones. Wenfa (2008) desenvolveu um sistema integrado entre a tecnologia RFID e CAD 4D, resultando em um sistema de gerenciamento e controle de qualidade mais eficiente. Chae et al. (2010) realizaram uma pesquisa sobre o uso de RFID para projetos da construção civil, procurando descobrir possíveis benefícios e desafios. Li et al. (2011) estudaram alguns fatores da tecnologia, analisando o impacto de cada um deles na qualidade da RFID para a construção civil. Hedayatnasab et al. (2011) investigaram o uso de técnicas de automação da tecnologia em conjunto do portal digital PDA para transferência e armazenamento de informações e dados entre laboratório responsáveis pelos testes nos materiais da construção. Hu e Lu (2013) desenvolveram um novo sistema de gerenciamento da produção de elementos de concreto pré-

moldado através do uso de chips RFID. Sardroud (2013) desenvolveu um sistema de obtenção, monitoramento, gerenciamento e transmissão de dados para corpos-de-prova através da tecnologia. Cai et al. (2014) desenvolveram um algoritmo para corretamente localizar materiais e objetos dentro do canteiro de obras com localizadores RFID. Su et al. (2014) pesquisaram sobre a qualidade do uso de RFID na construção, desenvolvendo um método avançado de condição de contorno entre RFID e GPS.

4.3 Veículos Aéreos não Tripulados

Cho et al. (2014) pesquisaram sobre o uso de UAVs de baixa altitude em conjunto com o sistema de GPS para melhorar o gerenciamento e controle da construção. Fang et al. (2016) desenvolveram um sistema híbrido de visão na nuvem para o rastreamento de elementos e materiais dentro do canteiro de obras através do uso de UAVs. McCabe et al. (2017) examinaram o uso de robôs e UAVs para o monitoramento de canteiros de obras internos. Entrop e Vasenev (2017) desenvolveram um protocolo para o uso de aeronaves não tripuladas com câmeras infravermelhas para o levantamento de termografia de edificações. Zhang e Hu (2018) estudaram o uso de fotografias panorâmicas, obtidas através de UAVs, com processamento pela tecnologia de medição oblíqua, para realizar o controle e gerenciamento da construção de uma ponte. Hamledari et al. (2018) propuseram uma solução no uso de UAVs para obtenção de *as-built* BIM e controle de qualidade através de classes IFC.

5 DISCUSSÃO

Dentro dos estudos analisados no tema de RV/RA para o controle de qualidade foi possível observar uma tendência inicial para o uso desta tecnologia no controle das tarefas já executadas, ao final de seu processo (SIU e LU, 2011; CHI et al, 2015; TEZEL e AZIZ, 2017; ZHOUL et al., 2017), enquanto apenas um dos estudos utilizou a tecnologia para auxiliar o controle de qualidade durante o processo da construção (KWON et al., 2014). Apesar do pequeno número de pesquisas neste tema, existe uma lacuna de pesquisa sobre o uso desta tecnologia para melhorar o controle de qualidade da construção durante os seus processos.

No tema de uso de tecnologias de rastreamento de posicionamento o assunto mais discutido dentro das pesquisas foi a tecnologia em si (REISBACKA et al., 2008; CHAE et al. 2010; LI et al., 2011; HEDAYATNASAB, 2011; SARDROUD, 2013; CAI et al., 2014; SU et al., 2014), sendo abordado a parte técnica de como utiliza-la, com um menor foco nos resultados que ela pode trazer para dentro do canteiro de obras (WANG et al., 2007; HU e LU, 2013). Além disso, dentro dos dez artigos utilizados nesta revisão, o último publicado foi em 2014, mostrando a necessidade da continuação de desenvolvimento de pesquisas neste tema com um maior foco para usos e resultados desta tecnologia dentro do canteiro de obras para melhorar o controle de qualidade.

A última tecnologia abordada neste artigo, VANTs teve o número de estudos mais baixo nesta revisão, não sendo possível encontrar uma clara tendência no desenvolvimento de pesquisas deste tema, com alguns autores focando no uso da tecnologia para o controle dos materiais no canteiro de obras (CHO et al., 2014; FANG et al., 2016) ou na tecnologia em si (ENTROP e VASENEV, 2017; ZHANG e HU, 2018; HAMLEDARI et al., 2018). Isto mostra que esta área ainda possui um grande potencial para desenvolvimento de pesquisas, principalmente para o uso desta tecnologia no auxílio do controle de qualidade de obras de grande porte, facilitando a obtenção de informações que seriam de difícil acesso sem o uso destes veículos, devido ao tamanho e extensão das obras.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Universidade Federal do Paraná (UFPR) e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) por auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ASGARI, Z.; RAHIMIAN, F. P. Advanced virtual reality applications and intelligent agents for construction process optimization and defect prevention. **Procedia Engineering**, v. 196, p. 1130-1137, jun. 2017.
- CAI, H.; RAHMAN, A.; SU, X.; LI, S. A boundary condition based algorithm for locating construction site objects using RFID and GPS. **Advanced Engineering Informatics**, v. 28, n. 4, p. 455-468, 2014.

CHAE, M. J.; YUN, S.; HAN, S. H.; KWON, S. W. A case study for integrating lean six-sigma and RFID applications in construction processes through simulation approach. **Proceedings of the 2010 Construction Research Congress**, p. 246–256, 2010.

CHALHOUB, J.; ALSAFOURI, S.; AYER, S. K. Leveraging site survey points for mixed reality BIM visualization. **Proceedings of the 2018 Construction Research Congress**, p. 326–335, 2018.

CHEN, L.; LUO, H. A BIM-based construction quality management model and its applications. **Automation in Construction**, v. 46, p. 64-73, jun. 2014.

CHI, H. L.; WANG, J.; WANG, X.; TRUIJENS, M.; YUNG, P. A conceptual framework of quality-assured fabrication, delivery and installation processes for Liquefied Natural Gas (LNG) plant construction. **Journal of Intelligent & Robotic Systems**, v. 79, p. 433–448, 2015.

CHO, Y. S.; LIM, N. Y.; JOUNG, W. S.; JUNG, S. H.; CHOI, S. K. Management of construction fields information using low altitude close-range aerial images. **Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography**, v. 32, n. 5, p. 551–560, 2014.

ENTROP, A. G.; VASENEV, A. Infrared drones in construction industry: designing protocol for building thermography procedures. **Procedia Engineering**, v. 132, p. 63-68, jun. 2017.

FANG, Y.; CHEN, J.; CHO, Y. K.; ZHANG, P. A point cloud-vision hybrid approach for 3D location tracking of mobile construction assets. **Proceedings of the 33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, p. 613–620, 2016.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; SAVARESE, S. Integrated sequential as-built and as-planned representation with D4AR tools in support of decision-making tasks in the AEC/FM Industry. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, p. 1099–1116, 2011.

HAMLEDARI, H.; DAVARI, S.; AZAR, E. R.; et al. UAV-enabled site-to-BIM automation: Aerial robotic- and computer vision-based development of as-built/as-is BIMs and quality control. **Proceedings of the 2018 Construction Research Congress**, p. 336–346, 2018.

HEDAYATNASAB, A.; MAJROUHISARDROUD, J. B. C.; LIMBACHIYA, M. D. Improving construction quality control and management using automated data collection technologies. **Proceedings of the 2nd International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics**, p. 24-29, 2011.

HU, M.; LU, J. An intelligent system for precast concrete element manufacturing management based on RFID technology. **Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Green Computing**, p. 1138–1143, 2013.

KWON, O. S.; PARK, C. S.; LIM, C. R. A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality. **Automation in Construction**, v. 46, p. 74-81, mai. 2014.

LI, S.; LI, N.; CALIS, G.; GERBER, B. B. Impact of ambient temperature, tag/antenna orientation and distance on the performance of radio frequency identification in construction industry. **Proceedings of the 2011 ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering**, p. 85–93, 2011.

LI, X.; YI, W.; CHI, H. L.; WANG, X.; CHAN, A. P. C. A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. **Automation in Construction**, v. 86, p. 150-162, 2018.

LIU, P.; CHEN, A. Y.; HUANG, Y.-N.; HAN, J.-Y.; LAI, J. -S.; KANG, S.-C.; WU, T.-H. WEN, M.-C.; TSAI, M.-H. A review of rotorcraft Unmanned Aerial Vehicle (UAV) developments and applications in civil engineering. **Smart Structures and Systems**, v. 13, n. 6, p. 1065-1094, 2014.

MA, Z.; CAI, S.; MAO, N.; YANG, Q.; FENG, J.; WANG, P. Construction quality management on a collaborative system using BIM and indoor positioning. **Automation in Construction**, v. 92, p. 35-45, mar. 2018.

MCCABE, B. Y.; HAMLEDARI, H.; SHAHI, A.; ZANGENEH, P.; AZAR, E. R. Roles, benefits, and challenges of using UAVs for indoor smart construction applications. **Proceedings of ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering 2017**, p. 349–357, 2017.

REISBACKA, T.; HÄMÄLÄINEN, H.; IKONEN, J. Automating construction project quality assurance with RFID- and mobile technologies. **Proceedings of the 16th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks**, p. 223–227, 2008.

SARDROUD, J. M. Developing RFID-based electronic specimen and test coding system in construction quality management. **Transactions of Civil Engineering**, v. 37, n. C, p. 469–478, 2013.

SIU, M. F.; LU, M. Augmented-reality visualizations of bored pile construction. **Proceedings of the Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering**, v. 3, p. 2437-2446, 2011.

SU, X.; LI, S.; YUAN, C.; CAI, H.; KAMAT, V. R. Enhanced boundary condition – based approach for construction location sensing using RFID and RTK GPS. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 10, p. 1–11, 2014.

TATUM, M. C.; LIU, J. Unmanned Aircraft System applications in construction. **Procedia Engineering**, v. 196, 167-175, jun. 2017.

- TEZEL, A.; AZIZ, Z. From conventional to it based visual management: A conceptual discussion for lean construction. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 22, p. 220–246, 2017.
- VAHA, P.; HEIKKILA, T.; KILPELAINEN, P.; JARVILUOMA, M.; GAMBAO, E. Extending automation of building construction – Survey on potential sensor technologies and robotic applications. **Automation in Construction**, v.36, p. 168-178, out. 2013.
- WANG, L. C.; LIN, Y. C.; LU, Y. F.; LEE, J. W. Developing advanced construction quality controlling and management system using RFID technology. **Proceedings of the Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering 2007**, v. 2, p. 820-829, 2007.
- WENFA, H. Integration of radio-frequency identification and 4D CAD in construction management. **Tsinghua Science and Technology**, v. 13, p. 151–157, 2008.
- WOODMAN, O.; HARLE, R. RF-Based initialization for inertial pedestrian tracking. **Pervasive Computing**, p. 238-255, 2009.
- ZHANG, J.; HU, Q. A visualization progress management approach of bridge construction based on mixed panoramic and oblique photogrammetry. **Proceedings of the 26th International Conference on Geoinformatics**, 2018.
- ZHOU, Y.; LUO, H.; YANG, Y. Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction. **Automation in Construction**, v. 82, p. 112–121, 2017.