ENTAC 2026
XXI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Goiânia, Brasil de 14 a 16 de outubro de 2026

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8786

Tecnologias digitais na gestão da segurança em obras de infraestrutura: desafios e oportunidades

Digital technologies for safety management in infrastructure projects: Challenges and opportunities

Vanessa Cruz Pacheco
UFBA | Salvador | Brasil | vanessa_cruz_pacheco@hotmail.com
Matheus Rocha de Carvalho Lima
UFBA | Salvador | Brasil | matheusrocha.rcl@gmail.com
Hugo Sefrian Peinado
UFBA | Salvador | Brasil | hugospeinado@gmail.com
Dayana Bastos Costa
UFBA | Salvador | Brasil | dayanabcosta@ufba.br
Pothira Francelia Loretto Picoli
Motiva | Jundiaí | Brasil | pothira.picoli@motiva.com.br

Resumo

A construção civil apresenta elevados índices de acidentes, especialmente em obras de infraestrutura, caracterizadas pela complexidade e dispersão das frentes de trabalho. Nesse sentido, este estudo tem como objetivo identificar as limitações e oportunidades do uso de tecnologias digitais na gestão da segurança em obras de infraestrutura. A metodologia combina revisão sistemática da literatura e estudo exploratório em uma obra rodoviária, com entrevistas, observação participante e inspeções com drone. Os resultados indicam que, apesar dos avanços, a aplicação das tecnologias ainda é fragmentada, com baixa integração de dados e predominância de processos reativos. Como contribuição, evidencia-se a lacuna entre o potencial tecnológico e sua aplicação prática, reforçando a necessidade de abordagens integradas para a gestão proativa da segurança.

Palavras-chave: Tecnologias digitais. Segurança do trabalho. Obras de infraestrutura.

Abstract

The construction industry presents high accident rates, especially in infrastructure projects, characterized by the complexity and dispersion of work fronts. In this sense, this study aims to identify the limitations and opportunities of using digital technologies in safety management in infrastructure projects. The methodology combines a systematic literature review and an exploratory study on a road construction site, with interviews, participant observation, and drone inspections. The results indicate that, despite advances, the application of technologies is still fragmented, with low data integration and a predominance of reactive processes. As a contribution, the gap between technological potential and its practical application is highlighted, reinforcing the need for integrated approaches for proactive safety management.

Keywords: Digital technologies. Occupational safety. Infrastructure projects.

PACHECO, V. C.; LIMA, M. R. de C.; PEINADO, H. S.; COSTA, D. B; PICOLI, P. F. L.. Tecnologias digitais na gestão da segurança em obras de infraestrutura: desafios e oportunidades. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil possui grande relevância econômica e social, mas apresenta elevados índices de acidentes de trabalho, com o total de 12.340 acidentes em obras em 2024, 3.018 ocorreram em obras de infraestrutura, totalizando 24,45% dos acidentes nesse setor [1]. Apesar das normas de segurança, a natureza dinâmica e complexa dos canteiros dificulta o controle dos riscos [2] [3]. Esse cenário é ainda mais crítico em obras de infraestrutura, devido à extensão dos canteiros e à dispersão das frentes de trabalho, o que limita as inspeções e o monitoramento contínuo e impacta a tomada de decisão em tempo hábil [4] [5].

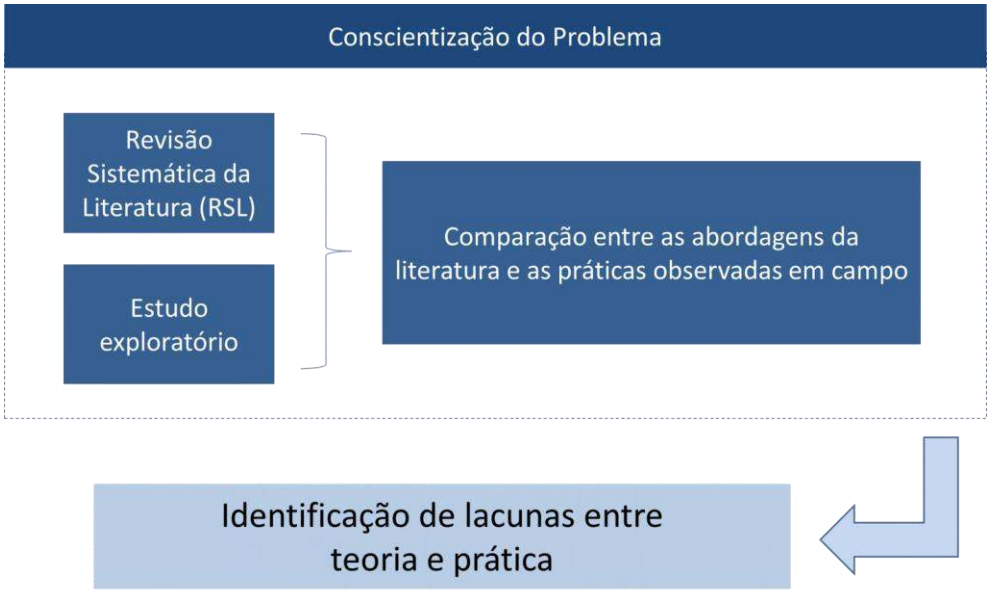
Nesse cenário, diferentes abordagens tecnológicas vêm sendo aplicadas para a melhoria da segurança, como o uso de modelagem da informação da construção (BIM) [6] drones [7] [8] e inteligência artificial [9] [10]. A adoção de tecnologias digitais na construção alinha-se ao paradigma da Construção 4.0, que preconiza o uso dessas tecnologias para o aperfeiçoamento da segurança, da qualidade e da produtividade, entre outras dimensões da construção [11]. Na área de segurança, essas tecnologias permitem desde a detecção automatizada de não conformidades até a análise mais complexa de comportamento e de interação com zonas de risco [12]. Entretanto, embora diversas tecnologias digitais venham sendo exploradas na construção civil, sua adoção em obras de infraestrutura ainda enfrenta desafios, como limitações de detecção a grandes distâncias [13], problemas de conectividade [13] e falta de padronização [14].

Diante da escassez de estudos que integrem o estado da arte às condições reais de campo, este trabalho propõe combinar uma revisão sistemática com um estudo exploratório em obra real. Assim, busca-se responder à seguinte questão: Quais são as principais limitações e oportunidades para a aplicação de tecnologias digitais na gestão da segurança em obras de infraestrutura, a partir da análise da literatura e da prática em campo?

MÉTODO DE PESQUISA

Este estudo é composto por duas etapas metodológicas: (a) revisão sistemática da literatura e (b) estudo exploratório. A primeira etapa teve como objetivo analisar o estado da arte das tecnologias digitais aplicadas à gestão da segurança em obras de infraestrutura. A segunda etapa teve como objetivo analisar como as práticas de gestão da segurança são conduzidas em campo e em que medida incorporam tecnologias digitais, a partir de um estudo exploratório em uma obra rodoviária no estado do Rio de Janeiro. Estas etapas integram uma pesquisa mais ampla, que adota a abordagem *Design Science Research* (DSR) uma vez que propõe a construção de um artefato que consiste em um método de inspeção automatizada da segurança em obras de infraestrutura rodoviária. Esse artigo sintetiza a fase de conscientização do problema (Figura 1).

Figura 1: Delineamento da pesquisa



Fonte: os autores.

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

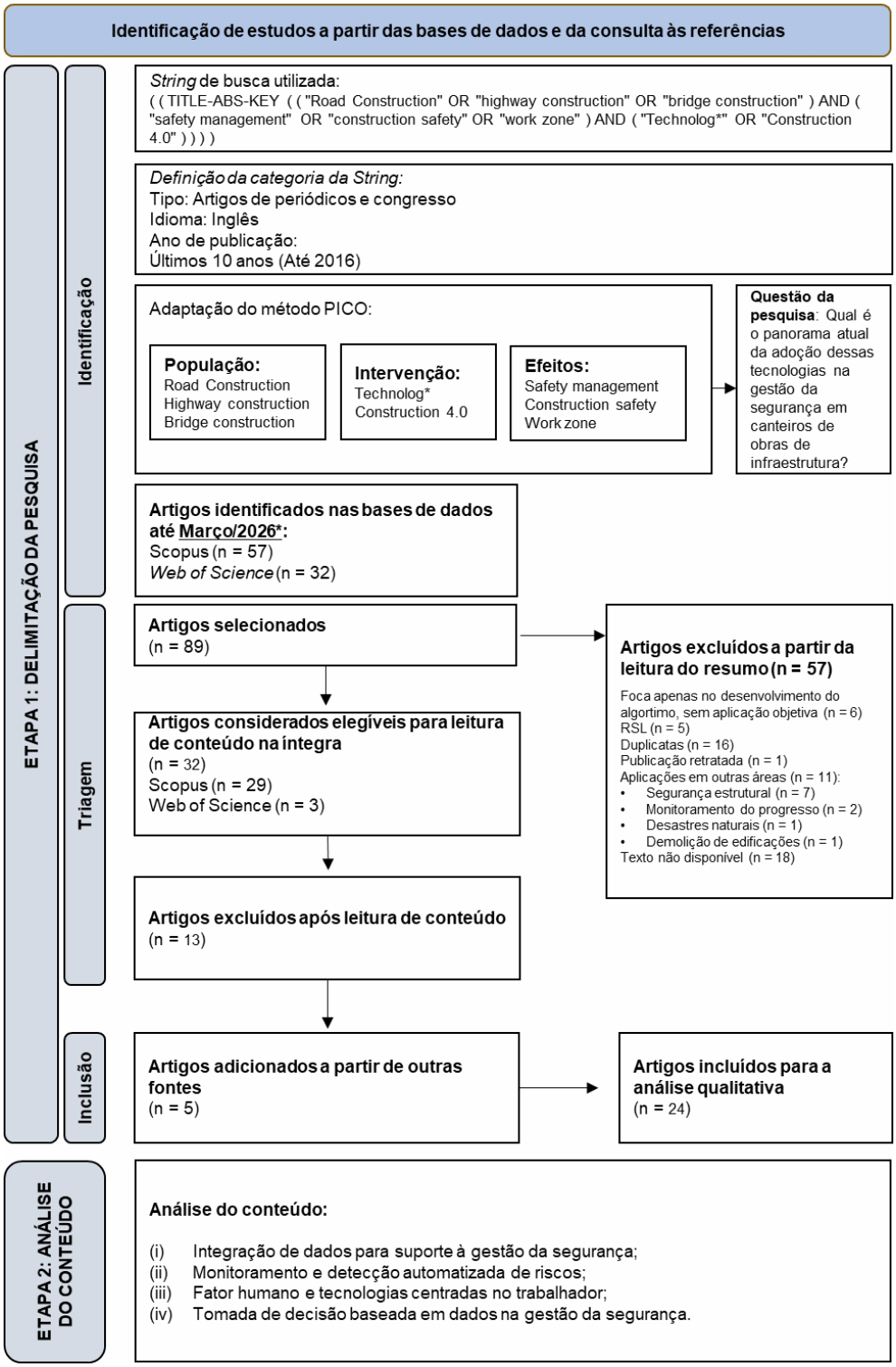
A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi conduzida em duas etapas: (i) delimitação das publicações (identificação, triagem e inclusão) e (ii) análise do conteúdo (Figura 2).

Na primeira etapa, foram definidos a questão de pesquisa e os termos de busca, com base na adaptação do método PICO, considerando população (P), intervenção (I) e resultados (O) [15]. Os critérios de inclusão e exclusão de artigos também são apresentados na Figura 2. A amostra final consistiu em 24 artigos.

Na segunda etapa, a análise do conteúdo teve como foco investigar a relação entre a aplicação de tecnologias digitais e a gestão da segurança em obras de infraestrutura. Nessa etapa, buscou-se responder à seguinte questão de pesquisa: qual é o panorama atual da adoção dessas tecnologias na gestão da segurança em canteiros de obras de infraestrutura?

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8786

Figura 2: Protocolo da RSL



Fonte: os autores.

ESTUDO EXPLORATÓRIO

A pesquisa foi realizada em um trecho de 16 km da Via Dutra (BR-116), no Rio de Janeiro, abrangendo 93 estruturas de contenção e 24 obras de arte especiais. As atividades de execução estão sob responsabilidade da Empresa B (construtora), contratada pela Empresa A (concessionária), que possui mais de 20 anos de atuação no setor de infraestrutura.

A coleta de dados foi de janeiro a março de 2026, por meio de entrevistas semiestruturadas, observação participante e inspeções com drone nas frentes de trabalho. As entrevistas com a equipe de segurança da Empresa A (Engenheiro de segurança e técnicos de segurança) permitiram compreender o sistema de gestão e as práticas adotadas.

Em seguida, foram realizadas visitas às frentes de trabalho e inspeções com drone em três trechos da obra, possibilitando a identificação de conformidades, não conformidades e riscos ocupacionais. Também foram consultados procedimentos formais e programa de gerenciamento de riscos da obra como fontes de evidências complementares às inspeções com drones

ANÁLISE DOS DADOS

Com base na revisão sistemática da literatura, foram identificadas quatro áreas que sintetizam as principais abordagens relacionadas ao uso de tecnologias digitais na gestão da segurança em obras de infraestrutura. A partir dessa estrutura, a análise foi conduzida separadamente por área, considerando as evidências da literatura e os dados do estudo exploratório de maneira independente. Ao final, para cada área, foram discutidas as principais tendências identificadas, as práticas observadas em campo, bem como as lacunas e oportunidades para a aplicação de tecnologias digitais na gestão da segurança em obras de infraestrutura.

RESULTADOS

Cada uma das seções a seguir apresenta, por área de análise, inicialmente os resultados da revisão sistemática da literatura e, em seguida, os resultados do estudo exploratório. As áreas são: (i) integração de dados para suporte à gestão da segurança; (ii) monitoramento e detecção automatizados de riscos; (iii) fator humano e tecnologias centradas no trabalhador; e (iv) tomada de decisão baseada em dados na gestão da segurança. Essas áreas foram utilizadas como categorias analíticas para organizar os resultados.

INTEGRAÇÃO DE DADOS PARA SUPORTE À GESTÃO DA SEGURANÇA

(1) RESULTADOS DA RSL

A literatura aponta a integração tecnológica como base para a transição de uma segurança reativa para uma abordagem proativa e orientada por dados, reduzindo a fragmentação dos processos. Sistemas em nuvem permitem centralizar e compartilhar informações em tempo real, apoiando a tomada de decisão [16].

Destaca-se a integração entre BIM (*Building Information Modeling*) e sistemas de informações geográficas (SIG), em que o BIM concentra informações de risco e o SIG fornece o contexto geoespacial [17]. Essas plataformas são alimentadas por tecnologias como IoT (Internet das coisas) e drones [18], enquanto Gêmeos Digitais viabilizam a sincronização entre o ambiente físico e virtual, favorecendo a prevenção preditiva de riscos [14].

Apesar dos avanços, persistem desafios de interoperabilidade [18], ausência de padronização [17] e limitações econômicas, que resultam em informações isoladas [14] e comprometem a efetividade da gestão integrada da segurança [18].

(2) EVIDÊNCIAS DO ESTUDO EXPLORATÓRIO

No estudo exploratório, observa-se o uso de práticas e ferramentas para monitoramento da segurança, como inspeções em campo, auditorias, registros visuais e sistemas digitais (como o Expert Suite 2.0, plataforma digital de apoio à gestão da segurança), além do uso pontual de visão computacional para detecção de desvios. A coleta de dados ocorre principalmente por inspeções presenciais, com posterior registro em diferentes plataformas. Contudo, a gestão é descentralizada e sem padronização entre as equipes, comprometendo a rastreabilidade, a consolidação das informações e o suporte à tomada de decisão.

As inspeções com drone evidenciam potencial para ampliar o monitoramento e a geração de dados. No entanto, sua ausência nos processos operacionais, aliada à falta de integração entre as fontes de dados, reforça a lacuna entre as possibilidades tecnológicas e sua aplicação prática. Assim, a gestão da segurança permanece fragmentada, indicando a necessidade de integração das informações para uma abordagem mais proativa e orientada por dados.

MONITORAMENTO E DETECÇÃO AUTOMATIZADA DE RISCOS

(1) RESULTADOS DA RSL

A literatura aponta o monitoramento e a detecção automatizada de riscos como centrais para a transição de uma segurança reativa para uma abordagem proativa, com intervenções em tempo real [13]. Destacam-se técnicas de aprendizado profundo, como as variantes do *You Only Look Once* (YOLO), para identificação de trabalhadores, máquinas pesadas e uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) [19], além do uso de drones para ampliar a cobertura das inspeções [20].

A análise dos dados capturados é viabilizada por Inteligência Artificial e Visão Computacional, com predominância de algoritmos de *deep learning*, especialmente da família YOLO [19]. Tecnologias complementares, como banda ultralarga (UWB - *Ultra-Wideband*), dispositivos vestíveis e biossensores, permitem rastreamento e monitoramento em tempo real [13]; checklists digitais agilizam o registro das informações [20].

Apesar dos avanços, persistem limitações relacionadas à precisão em longas distâncias, falsos positivos e dependência de conectividade, o que dificulta a aplicação contínua em campo [13].

(2) Evidências do estudo exploratório

No estudo de caso, o monitoramento da segurança ocorre predominantemente de forma reativa e dependente da atuação humana, com base em inspeções presenciais e auditorias periódicas, o que limita a frequência e a abrangência da identificação de riscos. Embora existam iniciativas de automação, como o uso de câmeras com visão computacional, sua aplicação é restrita ao galpão de pré-fabricados, não configurando um sistema contínuo de monitoramento e ainda sem evidências de efetividade na redução de acidentes.

As inspeções com drone realizadas neste estudo exploratório evidenciam o potencial de ampliar o monitoramento em múltiplas frentes de trabalho; contudo, sua ausência nos processos operacionais reforça a lacuna entre as possibilidades tecnológicas e sua aplicação prática. Assim, o monitoramento permanece pontual e pouco automatizado, indicando que o principal desafio não está na disponibilidade de tecnologias, mas na sua implementação como sistemas contínuos e integrados para suporte à prevenção proativa de riscos.

Fator humano e tecnologias centradas no trabalhador

(1) Resultados da RSL

A literatura destaca o fator humano como central na prevenção de acidentes, com foco em tecnologias que mitigam falhas de percepção e a normalização do risco [21]. Destaca-se o uso de realidade virtual em treinamentos imersivos, que permitem simular cenários de risco sem exposição real, aumentando a eficácia da aprendizagem [22], além de sistemas com feedback tátil e visual para redução de erros [23].

Plataformas de realidade virtual também têm sido utilizadas para replicar ambientes de alto risco e analisar a atenção dos trabalhadores por meio de biossinais, permitindo treinamentos seguros [22]. Complementarmente, biossensores e dispositivos vestíveis permitem o monitoramento da fadiga e da inatenção, viabilizando intervenções em tempo real [21].

Apesar dos avanços, persistem desafios relacionados à confiança excessiva em sistemas automatizados [17], à privacidade de dados biométricos e à aceitação pelos trabalhadores [24], limitando sua aplicação em campo.

(2) Evidências do estudo exploratório

No estudo de caso, as práticas relacionadas ao fator humano concentram-se em treinamentos formais, diálogos de segurança e cumprimento de procedimentos previstos em permissões de trabalho (PT) e análise preliminar de risco (APR), evidenciando uma gestão voltada à conscientização, porém ainda tradicional e reativa. A comunicação é predominantemente verbal e pontual, o que pode limitar a retenção e a percepção contínua dos riscos.

Não foram identificadas iniciativas com tecnologias centradas no trabalhador, como treinamentos imersivos, feedback em tempo real ou monitoramento fisiológico, indicando uma lacuna em relação à literatura. Assim, o desafio vai além da capacitação, exigindo estratégias que ampliem o engajamento e reduzam a dependência de intervenções humanas.

Tomada de decisão baseada em dados na gestão da segurança

(1) Resultados da RSL

A literatura apresenta a tomada de decisão baseada em dados como um estágio avançado de maturidade digital [17], no qual informações capturadas por sensores e sistemas são convertidas em suporte estratégico à segurança. Observa-se a transição de decisões subjetivas para o uso de métodos estruturados, como modelos multicritério, que permitem priorizar riscos e ações preventivas de forma mais objetiva [25].

Avanços recentes incluem o uso de Inteligência Artificial, como *Large Language Models* (LLMs), para análise de narrativas de acidentes [26], além de *dashboards* integrados que possibilitam o monitoramento de indicadores em tempo real [18]. Entretanto, persistem limitações relacionadas à ausência de modelos consolidados de risco integrados ao BIM, aos desafios de escalabilidade econômica e ao excesso de confiança na automação, que pode reduzir a capacidade crítica dos gestores na identificação de perigos.

(2) Evidências do estudo exploratório

No estudo de caso, a tomada de decisão em segurança baseia-se em inspeções presenciais, auditorias e registros manuais, evidenciando um processo pouco estruturado e dependente da interpretação individual. Apesar da existência de sistemas de registro, há limitações na integração e no uso analítico dos dados, que são utilizados de forma predominantemente reativa.

Não foram identificados mecanismos de consolidação e análise contínua, nem integração com tecnologias de monitoramento automatizado, o que limita a antecipação de riscos e a priorização de ações preventivas. Assim, o principal desafio não é a falta de dados, mas sua conversão em informações acionáveis, reforçando a necessidade de sistemas integrados para suporte à decisão proativa.

Análise integrada (Limitações e oportunidades)

A análise integrada dos resultados evidencia que, embora a literatura aponte avanços significativos no uso de tecnologias digitais para a gestão da segurança, sua aplicação prática ainda enfrenta limitações relacionadas à integração de dados, à maturidade tecnológica e à adaptação às condições reais dos canteiros.

Nesse contexto, o Quadro 1 sintetiza as principais oportunidades e limitações identificadas, considerando tanto a perspectiva teórica quanto prática.

Quadro 1: Síntese de oportunidades e limitações na gestão da segurança

Área	Perspectiva	Oportunidades	Limitações
Integração de dados	Teórica	Sistemas de nuvem; BIM+SIG; Gêmeos Digitais para prevenção preditiva	Baixa interoperabilidade; falta de padronização; dados isolados
	Prática	Uso de drones para ampliar monitoramento e gerar dados	Gestão descentralizada e sem padronização
Monitoramento automatizado	Teórica	IA/Deep Learning (YOLO); Banda Ultralarga (UWB) e biossensores para monitoramento em tempo real	Baixa precisão a longas distâncias; falsos alarmes; dependência de conectividade
	Prática	Visão computacional em ambientes específicos; uso experimental de drones	Monitoramento reativo e dependente de ação humana
Fator humano	Teórica	RV para treinamento; feedback sensorial; monitoramento de fadiga/atenção	Risco de confiança excessiva; questões de privacidade; resistência ao uso
	Prática	Foco em conscientização (treinamentos e DDS)	Práticas tradicionais; ausência de tecnologias imersivas
Tomada de decisão	Teórica	Modelos multicritério e IA; dashboards integrados	Falta de integração dos riscos com BIM; baixa escalabilidade; limitações analíticas
	Prática	Sistemas digitais para registro de dados	Registros manuais; decisões reativas e individuais

Fonte: os autores.

DISCUSSÃO

A análise conjunta dos resultados evidencia um cenário de transição, no qual a literatura avança para uma gestão de segurança digital, integrada e proativa, enquanto a prática permanece fragmentada e predominantemente reativa. Essa discrepância sugere que os desafios para a transformação digital da segurança em obras de infraestrutura não estão relacionados apenas à disponibilidade de tecnologias, mas também a fatores organizacionais, operacionais e econômicos que dificultam sua implementação em larga escala.

Na integração de dados, tecnologias como nuvem, BIM+SIG e Gêmeos Digitais são apontadas como base para prevenção preditiva [14][18], porém o caso revela gestão descentralizada e sem padronização, indicando limitações de interoperabilidade e governança. No monitoramento, há um descompasso entre o potencial de algoritmos de Deep Learning e sensores para detecção em tempo real [13] e a prática, ainda dependente de inspeções manuais.

No fator humano, embora a literatura destaque treinamentos imersivos e monitoramento da atenção [21], predominam práticas tradicionais, limitando o engajamento. Na tomada de decisão, apesar do uso proposto de modelos multicritério e IA [25], a prática ainda se baseia em registros manuais, refletindo baixa maturidade analítica.

De forma geral, a principal lacuna não está na disponibilidade de tecnologias, mas na sua implementação como sistemas integrados e contínuos, capazes de converter dados em informações acionáveis para a prevenção de riscos e tomada de decisão gerencial. O estudo contribui ao evidenciar empiricamente esses desafios em uma obra de infraestrutura, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de abordagens mais integradas e aplicáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo analisou o uso de tecnologias digitais na gestão da segurança em obras de infraestrutura por meio da associação entre uma revisão sistemática da literatura e um estudo de caso exploratório em uma obra rodoviária. A principal contribuição desta pesquisa consiste na identificação das limitações e oportunidades para aplicação dessas tecnologias, a partir da comparação entre o estado da arte e a prática em campo. Para isso, o estudo organiza essa discussão em quatro áreas analíticas: integração de dados, monitoramento automatizado de riscos, tecnologias centradas no trabalhador e tomada de decisão baseada em dados.

Apesar do avanço das tecnologias digitais, sua aplicação ainda ocorre de forma fragmentada, com processos predominantemente reativos e baixa integração de dados. Observa-se que a adoção de sistemas integrados pode contribuir para um monitoramento contínuo e para a antecipação de riscos. Como limitações, destacam-se a ausência de aplicação das tecnologias no contexto estudado e a falta de integração entre dados e processos. Como trabalhos futuros, sugere-se o desenvolvimento de abordagens integradas que apoiem a automação do monitoramento e a tomada de decisão baseada em dados na gestão da segurança.

AGRADECIMENTOS

À FAPESB pela concessão de bolsa de Doutorado à primeira autora. Ao PIBIC UFBA pela concessão de bolsa de Iniciação Científica ao segundo autor do trabalho. Ao CNPq pela concessão de recursos financeiro (Projeto 403939/2025-9). À empresa Motiva pelo apoio financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, a primeira autora utilizou o Grammarly para revisar o texto e aprimorar sua coesão. Após o uso da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário, assumindo integral responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado.

REFERÊNCIAS

[1] BRASIL. **Smartlab – Mapa de acidentes de trabalho**. 2026. Disponível em: https://smartlabbr.org/sst/smartmap. Acesso em: 16 abr. 2026.

[2] DALRI, T.S.. **Acidentes de Trabalho registrados na Construção Civil entre 2015 a 2020**. 2022. Monografia (Pós-graduação em Engenharia de Segurança) —Universidade do Sul de Santa Catarina.

[3] BAVAFA, A.; MAHDIYAR, A.; MARSONO, A. K..Identifying and assessing the critical factors for effective implementation of safety programs in construction projects. **Safety Science**, v. 106, p. 47-56, 2018.

[4] ZHU, C.; ZHU, J.; BU, T.; GAO, X.. Monitoring and identification of road construction safety factors via UAV. **Sensors**, v. 22, n. 22, p. 8797, 2022.

[5] 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.

[6] ASADZADEH, A.; ARASHPOUR, M.; LI, H.; NGO, T.; BAB-HADIASHAR, A.; RASHIDI, A.. Sensor-based safety management. **Automation in Construction**, v. 113, p. 103128, 2020.

[7] MELO, R. R. S. de; COSTA, D. B.; ÁLVARES, J. S.; IRIZARRY, J.. Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites**. Safety Science**, v. 98, p. 174-185, 2017.

[8] REY, R. O.; MELO, R. R. S. de; COSTA, D. B.. Design and implementation of a computerized safety inspection system for construction sites using UAS and digital checklists–Smart Inspecs. **Safety Science**, v. 143, p. 105430, 2021.

[9] DOBRUCALI, E.; SADIKOGLU, E.; DEMIRKESEN, S.; ZHANG, C.; TEZEL, A.; KIRAL, I. A.. A bibliometric analysis of digital technologies use in construction health and safety. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 31, n. 8, p. 3249-3282, 2024.

[10] PEINADO, H. S.; OLIVEIRA, C. A. de; MELO, R. R. S. de; OTTONI, A. L. C.; FRÓES, S. M.; NOVO, M. S.; COSTA, D. B. Detecção de guarda-corpo e rodapés em canteiro de obras utilizando drones e visão computacional. **Ambiente Construído**, v. 25, 2025.

[11] WANG, Kaiyang; GUO, Fangyu; ZHANG, Cheng; SCHAEFER, Dirk. From Industry 4.0 to Construction 4.0: barriers to the digital transformation of engineering and construction sectors. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 31, n. 1, p. 136–158, 2024.

[12] GUPTA, S.; JAIN, V.; SHARMA, P. K.; NAIR, S.. UAV-Based Real-Time Safety Inspection Using Deep-Learning Techniques for Natural and Artificial Hazard Management. **Journal of Structural Design and Construction Practice**, v. 31, n. 2, p. 04026008, 2026.

[13] LUNG, L. W.; WANG, Y. R.; CHEN, Y. S.. Leveraging deep learning and internet of things for dynamic construction site risk management. **Buildings**, v. 15, n. 8, p. 1325, 2025.

[14] YANG, L.; CHEN, L.. Digital Twin-based construction quality and safety model of urban elevated bridge. In: **Proceedings of the 2025 International Conference on Management Science and Computer Engineering**. 2025. p. 669-674.

[15] AGOSTINHO, H. L.; GRANJA, A. D. Comparação de Modelos Contratuais na Construção Civil: Um Mapeamento Sistemático de Literatura. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 16., 2016, São Paulo. Anais [...] Porto Alegre: ANTAC, 2016.

[16] ZOU, P. X.; LUN, P.; CIPOLLA, D.; MOHAMED, S.. Cloud-based safety information and communication system in infrastructure construction. **Safety science**, v. 98, p. 50-69, 2017.

[17] ZHOU, J.; LI, Z.; SHI, Z.; MAO, X.; GAO, C. Cognitive-Inspired Multimodal Learning Framework for Hazard Identification in Highway Construction with BIM–GIS Integration. **Sustainability**, v. 17, n. 21, p. 9395, 2025.

[18] ZHOU, D.; PEI, B.; LI, X.; JIANG, D.; WEN, L.. Innovative BIM technology application in the construction management of highway. **Scientific reports**, v. 14, n. 1, p. 15298, 2024.

[19] ALATEEQ, MUNEERAH M.; P.P., FATHIMATHUL RAJEENA; ALI, M. A.S. Construction site hazards identification using deep learning and computer vision. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 2358, 2023.

[20] OLIVEIRA, C. A. de; MELO, R. R. S. de; PACHECO, V. C.; GUIMARÃES, V. M. S. N.; COSTA, D. B.. Implementação do método de inspeção de segurança (Smart Inspecs) em obras de infraestrutura. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 20., 2024. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2024. p. 1–13. DOI: 10.46421/entac.v20i1.5905.

[21] KIM, N.; KIM, J.; AHN, C. R. Predicting workers' inattentiveness to struck-by hazards by monitoring biosignals during a construction task: A virtual reality experiment. Advanced **Engineering Informatics**, v. 49, p. 101359, 2021.

[22] CHANG, D.; HOPFENBLATT, J.; EDARA, P.; BALAKRISHNAN, B.. Immersive virtual reality training for inspecting flagger work zones. In: **2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)**. IEEE, 2020. p. 327-330.

[23] JUMARI, M. Z. I.; HASSAN, S.; NADIR, M. A. M.; YUSOF, N. M.; IKHSAN, M. S.; AZMAN, M. A. M. N.; ...MARWAH, O. M. F.. The Signal Warning Detector (SWAD) for sustainable working environment at highways. **International Journal of Integrated Engineering**, v. 14, n. 2, p. 157-163, 2022.

[24] NNAJI, C.; LEE, H. W.; KARAKHAN, A.; GAMBATESE, J.. Developing a decision-making framework to select safety technologies for highway construction**. Journal of construction engineering and management**, v. 144, n. 4, p. 04018016, 2018.

[25] WANG, Z.; YUAN, Y.. Construction safety risk assessment of high-pile wharf: a case study in China**. Buildings**, v. 14, n. 5, p. 1189, 2024.

[26] SMETANA, M.; SALLES DE SALLES, L.; SUKHAREV, I.; KHAZANOVICH, L.. Highway construction safety analysis using large language models. **Applied Sciences**, v. 14, n. 4, p. 1352, 2024.