XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

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

BIM, Blockchain e outras tecnologias digitais na fase de construção: análise da produção científica internacional

BIM, Blockchain and other digital technologies in the construction phase: analysis of international scientific production

Nathalia Rangel Dantas
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | nathalia.rangel@ufba.br
Reymard Sávio Sampaio de Melo
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | reymard.savio@ufba.br
Elaine Pinto Varela Alberte
Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | elaine.varela@ufba.br

Resumo

Este artigo revisou sistematicamente a literatura internacional sobre a integração BIM, Blockchain e outras tecnologias digitais na fase de construção. Os autores selecionaram nove artigos de aplicações em um cenário hipotético ou no mundo real e agruparam nas categorias: automatização de pagamentos, gerenciamento do controle de qualidade da obra, rastreamento de dados de progresso da construção e rastreamento de dados da cadeia de suprimentos. Os resultados sugerem o uso mais frequente das plataformas blockchain Hyperledger, Azure e GoQuorum. A ausência de estudos empíricos e as características de funcionalidade das plataformas Blockchain foram apontados como os principais entraves para a integração.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção. Blockchain. Tecnologias Digitais. Arquiteturas de Sistema.

Abstract

This article systematically reviewed the international literature on integrating BIM, Blockchain and other digital technologies in the construction phase. The authors selected nine articles from hypothetical or real-world applications and grouped them into categories: payment automation, construction quality control management, construction progress data tracking, and supply chain data tracking. The results suggest the most frequent use of the Hyperledger, Azure and GoQuorum blockchain platforms. The absence of empirical studies and the functional characteristics of Blockchain platforms were identified as the main barriers to integration.

DANTAS, N. R.; MELO, R. S. S. de; ALBERTE, E. P. V. BIM, Blockchain e outras tecnologias digitais na fase de construção: análise da produção científica internacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2022. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1973

Keywords: Building Information Modeling. Blockchain. Digital Technologies. System Architectures.

INTRODUÇÃO

O setor da construção civil depende diretamente de uma boa colaboração entre as partes envolvidas para garantir uma boa produtividade. Entretanto, essa produtividade está estagnada há décadas, comparada a outros setores [1]. Isto indica que há falhas na colaboração, ou seja, o compartilhamento de informações não está ocorrendo de forma eficaz. Como esse setor lida com vários participantes interagindo ao mesmo tempo, podem surgir inconsistências e atrasos na comunicação de dados, afetando a produtividade [2].

Uma alternativa para o desenvolvimento do setor da construção, nesse quesito, é a integração de tecnologias digitais (TD). O uso integrado de *Building Information Modeling* (BIM) e *Blockchain*, por exemplo, pode ser aplicado em diferentes fases do ciclo de vida de uma construção para automatizar pagamentos, garantir mais transparência e segurança aos dados de projeto compartilhados [2], e gerenciar a cadeia de suprimentos e aquisição da construção [3][4]. Entretanto, esse tipo de integração ainda é muito recente e deve ser melhor explorado para atingir todo o seu potencial.

O BIM tem tornado os processos mais integrados, contribuindo para a construção digital de todos os aspectos do ativo construído [1]. Esta representação virtual dos ativos físicos auxilia no monitoramento e análise dos dados de progresso da construção, que devem ser invioláveis e rastreáveis. Logo, para garantir mais segurança no gerenciamento, armazenamento e compartilhamento desses dados, pode-se integrar o modelo BIM à *Blockchain* [2].

A tecnologia *Blockchain* é um registro distribuído, descentralizado e armazenado em uma rede de computadores [1]. Ao fazer parte desta rede, os participantes podem realizar qualquer transação de dados diretamente entre si através de mecanismos de consenso, eliminando a necessidade de intermediários. Esses dados são protegidos por criptografia e ficam registrados cronologicamente, para cada participante, numa cadeia de blocos muito difícil de ser alterada, tornando-os imutáveis [1][2]. Essas características garantem mais transparência e segurança aos dados compartilhados [1].

Embora a integração de BIM e *Blockchain* apresente potencial para a digitalização de processos da construção civil, ainda há uma lacuna de pesquisas que apliquem, na prática, as arquiteturas de sistema (AS) na fase de construção da edificação. Como o setor da construção civil é muito tradicional e resistente a inovações, a adoção dessas novas TD tem sido lenta [5][6][7][8]. Consequentemente, poucos trabalhos são produzidos e validados a fim de aprimorar os sistemas existentes e inovar [2][7][8][9][10]. Porém, o crescente interesse em TD, indica que o próximo passo será a realização de mais testes no mundo real [5].

Este artigo tem como objetivo fazer uma análise de conteúdo apenas dos estudos anteriores de natureza simulada, empírica ou baseadas em cenários do mundo real, na fase de construção. Logo, o estudo foca suas análises em três dos sete tipos de estudos classificados por Li e Kassem [5]: simulação de prova de conceito, estudo de caso e aplicação no mundo real. A simulação de prova de conceito inclui os estudos que aplicaram uma AS de forma simulada por computador ou protótipo. O estudo de caso inclui os que aplicaram AS em cenários hipotéticos ou baseados no mundo real. E a aplicação no mundo real inclui os que testaram o sistema em um cenário do mundo real, sendo o tipo de estudo com menos registros [5].

Deste modo, pretende-se verificar quais usos na fase de construção estão recebendo mais incentivo para o desenvolvimento de estudos práticos e com quais objetivos. Além de identificar como está sendo feita a integração de BIM e *Blockchain*, fazendo um levantamento de quais AS estão sendo desenvolvidas e testadas para este fim, bem como quais as limitações encontradas no processo.

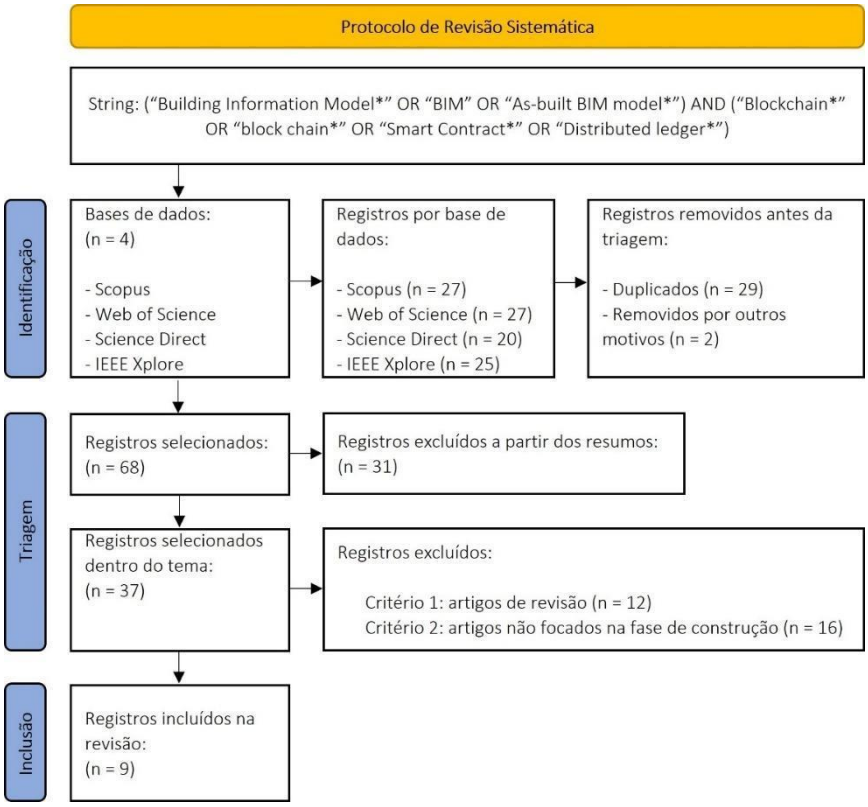
Com o intuito de identificar as lacunas existentes na literatura, este artigo foi estruturado com 3 seções principais. A seção 2 apresenta o método de pesquisa adotado, identificando todos os processos seguidos para a obtenção da amostra final de análise. A seção 3 aborda os resultados obtidos e discute as questões levantadas anteriormente nos objetivos. Por fim, a seção 4 apresenta as conclusões, apontando as limitações do estudo e sugerindo pesquisas futuras.

MÉTODO DE PESQUISA

O presente estudo realiza uma revisão sistemática da literatura seguindo o protocolo da Figura 1, para analisar o cenário atual da produção científica referente à integração entre BIM e *Blockchain* na fase de construção. Para isso, inicialmente, foi montada uma *string* de pesquisa, escolhida em função da limitação de estudos relacionados ao tema, considerando uma opção mais abrangente para ser empregue nas bases de dados selecionadas.

Para obter uma amostra maior de registros, foram escolhidas as quatro bases de dados de maior relevância para o tema: *Scopus*, *Web of Science*, *Science Direct* e *IEEE Xplore*. Além disso, não foi definido um intervalo temporal, visto que a produção científica relacionada ao tema ainda é muito recente e há poucos trabalhos sobre o assunto. A filtragem dos resultados envolveu títulos, palavras-chaves e resumos, englobando apenas artigos em inglês de periódicos da área de engenharia.

Figura 1: Diagrama do protocolo de revisão sistemática



Fonte: os autores.

Antes da etapa de triagem, todos os resultados foram reunidos e organizados em planilha eletrônica para a filtragem dos registros duplicados, com base nos títulos. Dois registros foram removidos da relação de resultados devido à indisponibilidade de acesso aos mesmos. Na etapa de triagem, a partir da análise dos resumos, foram removidos os registros que não tinham relação direta com o tema em estudo. E, por fim, foram removidos outros registros através da leitura das seções de metodologia e resultados dos respectivos registros. Neste ponto, o referido filtro baseou-se em dois critérios: tipo de pesquisa e fase de aplicação.

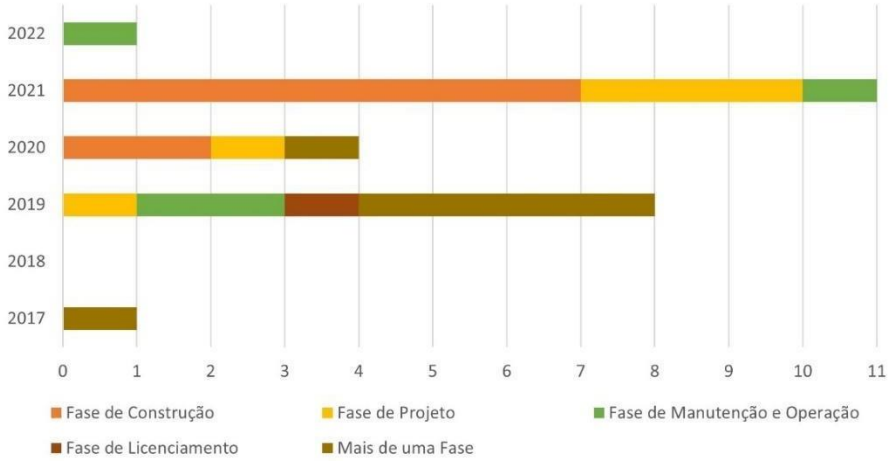
Considerando o tipo de pesquisa, foram selecionados apenas os artigos que apresentaram pesquisa aplicada, sendo descartados aqueles que apresentaram apenas revisão de literatura. Considerando a fase de aplicação, foram selecionados apenas os artigos que abordaram a aplicação da integração na fase de construção, excetuando outras fases do ciclo de vida da edificação. Finalizada a triagem, obteve-se uma amostra final de 9 registros incluídos para esta revisão.

Após a delimitação da amostra final, foi realizada uma análise de conteúdo dos artigos selecionados, verificando o tipo de aplicação (simulação computacional, estudo de caso ou aplicação no mundo real) e os usos e objetivos da integração de BIM, *Blockchain* e outras TD nesses estudos. Quanto às formas de integração, foram observados os tipos de AS adotadas, incluindo todos os componentes envolvidos (modelos BIM, tipo de plataforma *Blockchain*, sensores de rastreamento da realidade física, contratos inteligentes e outros).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Dentro dos parâmetros de seleção utilizados nesta revisão sistemática da literatura, o número de publicações encontradas entre os anos de 2017 e janeiro de 2022 pode ser resumido no gráfico da Figura 2. Neste gráfico não estão inclusos artigos de revisão de literatura, visto que a intenção é analisar quais estudos estão sendo desenvolvidos para a aplicação da integração de TD como BIM e *Blockchain* na construção civil.

Figura 2: Número de publicações por ano e por fase do ciclo de vida da edificação



OBS: O período equivalente ao ano de 2022 só considerou o mês de janeiro.

Fonte: os autores.

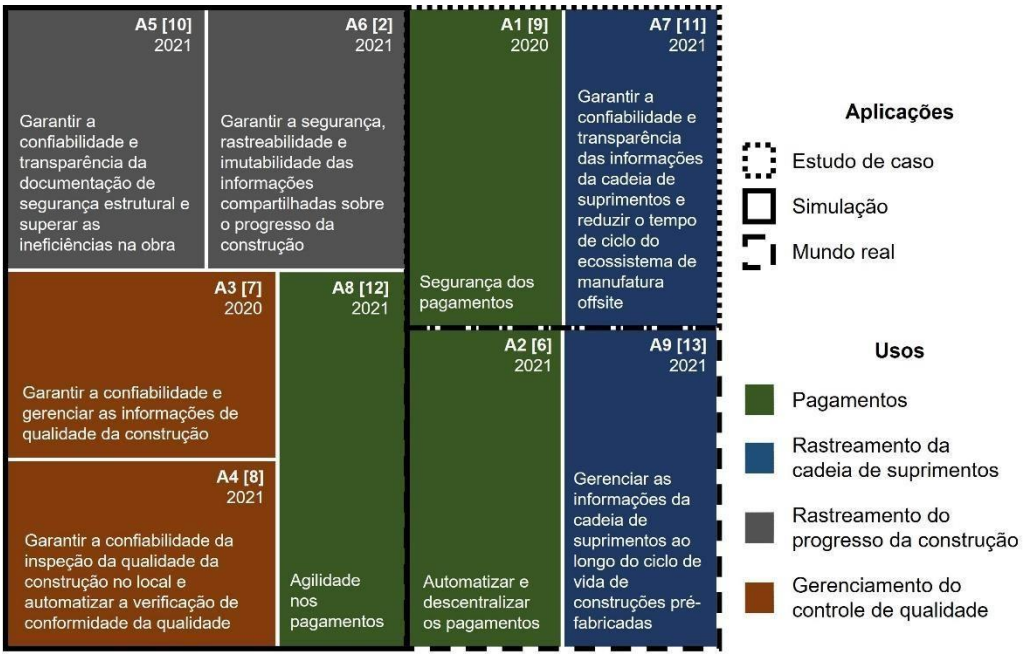
A figura 2 mostra que as fases de construção, de projeto e de manutenção e operação são as que apresentam mais opções de integração para solucionar problemas do setor da construção civil, sendo perceptível pelo número de publicações ao longo dos anos. A categoria “Mais de uma Fase”, que inclui estudos aplicados a mais de uma fase do ciclo de vida da edificação, representava a maioria das publicações em 2019. Porém, desde 2020, as publicações passaram a ser mais específicas para diferentes fases do ciclo de vida da edificação. Houve também um direcionamento dos estudos para as fases de construção e projeto.

Em 2021, os registros específicos para a fase de construção tiveram maior destaque, representando mais da metade das publicações naquele ano. Esse crescimento sugere um potencial interesse nesta fase, trazendo registros de *frameworks*, estudo de casos, simulações computacionais e aplicações no mundo real [5].

ANÁLISE DE CONTEÚDO

A amostra final de 9 registros relacionados à fase de construção pode ser categorizada de acordo com o mapeamento da Figura 3, que apresenta os estudos segundo o tipo de aplicação, os usos e objetivos da integração das TD.

Figura 3: Mapeamento segundo as aplicações, usos e objetivos da integração BIM, *Blockchain* e outras TD.



Fonte: os autores.

Quanto ao tipo de aplicação, foram selecionados os registros que fizeram estudos de caso aplicando uma AS integrando BIM, *Blockchain* e outras TD em um cenário hipotético, ou simulando em computadores, ou aplicando no mundo real para a validar a proposta. Nota-se que somente dois estudos aplicaram uma AS no mundo real, retratando o quão lenta tem sido a adoção dessa integração na construção civil. Por enquanto, as aplicações que prevalecem são as simulações em ambiente virtual.

Dentro dessas aplicações, foram categorizados os usos aos quais se destinam a integração. Sendo eles a automatização de pagamentos, o gerenciamento do controle de qualidade da obra, o rastreamento de dados da cadeia de suprimentos e o rastreamento de dados de progresso da construção. Os objetivos da integração de BIM, *Blockchain* e outras TD nesses usos estão majoritariamente relacionados à necessidade de automatizar processos e garantir mais transparência, confiança e segurança às informações compartilhadas entre as partes envolvidas. Afinal, o setor da construção civil lida com muitos dados confidenciais que não podem ser acessados por pessoas não autorizadas [2].

Quanto à automatização de processos, destaca-se o de pagamentos. Os registros relacionados dissertam que os problemas referentes a atrasos de pagamentos, ou até a falta deles, resultam em impactos consideráveis para as empresas e/ou partes envolvidas. Além de problemas financeiros gerados aos associados, a empresa ainda pode sofrer com disputas internas e até judiciais que também são danosas para o andamento da construção [1][6][9].

Por isso, o uso de *Blockchain* garante mais transparência e segurança aos pagamentos e a integração com BIM e outras TD possibilita a automatização com base no cumprimento das demandas. Para isto, é preciso rastrear e compartilhar as

informações entre os ambientes físicos e digitais referentes à construção, em tempo real. Ao utilizar sensores inteligentes de captura da realidade física (SI) associados ao modelo BIM projetado, contratos inteligentes (CI) e *Blockchain* se cria um sistema que evitará atrasos e falta de pagamentos [6][9].

ARQUITETURAS DE SISTEMA UTILIZADAS

A integração de BIM, *Blockchain* e outras TD varia de acordo com o objetivo que se pretende atingir, seja para a automatização de processos ou gestão dos dados de progresso de uma construção. Para a fase de construção, pode-se estruturar o sistema de diferentes formas, conforme a matriz da Figura 4.

Figura 4: Matriz de análise das arquiteturas de sistema utilizadas.

	USOS DA INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS			
Componentes da estrutura de sistema	Automatização de pagamentos	Gerenciamento do controle de qualidade da obra	Rastreamento de dados do progresso da construção	Rastreamento de dados da cadeia de suprimentos
Plataforma blockchain pública	A2		A5	NI*
Plataforma blockchain privada	A1, A8	A3, A4	A6	NI*
Modelos BIM	A1, A2, A8		A6	A7, A9
Contratos inteligentes	A1, A2, A8	A4	A5	A7
Sensores inteligentes de captura da realidade física	A1, A2	A4	A6	A7, A9
Sistemas cyber-físicos				A9
Inteligência de máquina	A2			
Interface de programação de aplicativos		A3	A5	
Sistemas de arquivos interplanetários (IPFS)	A2			

NI*: Não informada

Fonte: os autores.

Analisando a matriz pode-se destacar 4 TD principais que foram testadas para os usos abordados. Sendo eles a plataforma *Blockchain*, os modelos BIM, os CI e os SI. Os tons de verde são proporcionais à quantidade de artigos, quanto maior, mais escuro. Dos 9 artigos, 6 (A1 [9], A2 [6], A6 [2], A7 [11], A8 [12] e A9 [13]), fizeram integração entre plataformas *Blockchain*, públicas ou privadas, e modelos BIM (destacado em azul), embora A7 [11] e A9 [13] não tenham informado qual o tipo de plataforma *Blockchain* utilizada.

Para a automatização de pagamentos, ficou evidente a importância da integração entre BIM e *Blockchain*, associados a CI, para realizar os processos propostos em A1 [9], A2 [6] e A8 [12]. A1 [9] e A2 [6] ainda incorporaram SI que atualizavam o ambiente digital em tempo real, reduzindo a interferência humana, para que os CI realizassem os pagamentos, seja através de um fundo previamente definido ou por *tokens* e criptomoedas [6][9]. Além disso, A2 [6] utilizou inteligência de máquina e sistemas de arquivos interplanetários para analisar e compartilhar, de forma endereçável, o progresso da construção para o modelo BIM.

Para o gerenciamento do controle de qualidade da obra, nenhum dos artigos analisados fez integração com BIM. Sendo assim, A3 [7] propôs uma estrutura baseada

na *Blockchain* privada e interface de programação de aplicativos (IPA) com quatro camadas: dados, rede, consenso e aplicação para gerenciar as informações de qualidade em projetos de construção. A primeira com informações de qualidade. A segunda com a determinação dos membros da rede, confirmação da identidade de cada nó e atribuição de responsabilidades. A terceira focada em alcançar um consenso entre os nós. E a quarta fornece uma interface amigável para registrar, realizar consultas e autorizar o acesso às informações [7]. Enquanto A4 [8] aplicou os 3 das 4 TD principais, excetuando o modelo BIM, para o controle de qualidade da execução da construção, onde o CI era responsável por validar a qualidade do lote entregue.

Para o rastreamento de dados do progresso da construção, A5 [10] integrou Aplicativos descentralizados (DApps), baseados na *Blockchain* pública da *Ethereum*, gerenciados pelas IPA do *Dropbox*, com CI básicos para rastrear as atividades humanas no canteiro de obras. O objetivo foi reduzir as documentações impressas, melhorando a imutabilidade, transparência e confiabilidade das informações de segurança estrutural [10]. Já A6 [2] integrou *Blockchain* privada da *Azure*, modelos BIM e SI para simular uma construção real em ambiente virtual e acompanhar o seu progresso.

Para o rastreamento de dados da cadeia de suprimentos, A7 [11] e A9 [13] integraram modelos BIM com plataforma *Blockchain* não informada e SI para rastrear e documentar de forma segura as informações do ciclo de vida de construções *offsite*. A7 [11] também integrou CI para validar a qualidade dessas informações, enquanto A9 [13] utilizou sistemas cyber-físicos para automatizá-las na construção de habitações pré-fabricadas.

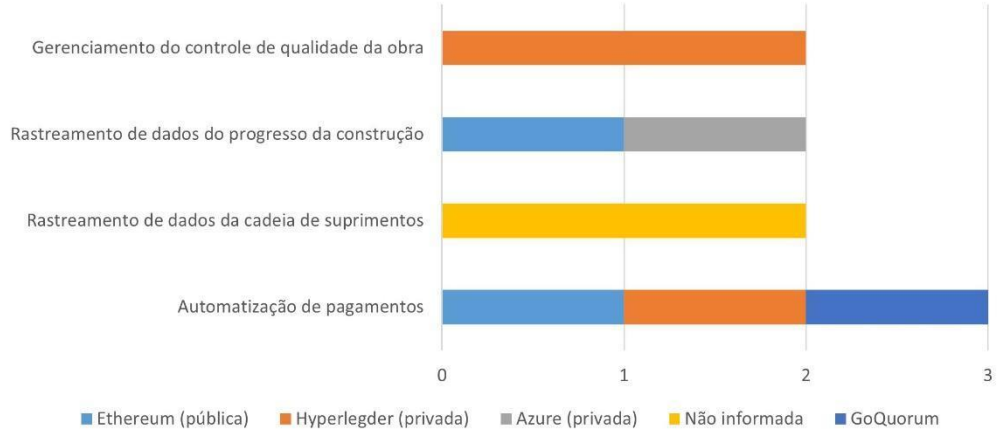
TIPOS DE PLATAFORMAS BLOCKCHAIN

Além de definir os componentes da AS, é preciso escolher qual o tipo de plataforma Blockchain mais adequado, pública ou privada. A pública é mais descentralizada por ser aberta, permitindo o acesso de qualquer pessoa à rede. Já a privada permite apenas o acesso de membros autorizados. Isto garante mais rapidez nas transações, melhor confidencialidade dos dados e escalabilidade da rede (capacidade de lidar com muitas transações ao mesmo tempo) [1][2][8].

Como no setor da construção civil, muitos dos dados compartilhados são sigilosos e confidenciais, as plataformas privadas atraem mais atenção. Por outro lado, a desvantagem é que a rede não é tão descentralizada, tendo mais chances de ocorrer falhas de segurança, quando comparada à pública. Entretanto, tudo isso vai depender dos mecanismos de consentimento da rede, onde todas as partes envolvidas são responsáveis [1][2].

A Figura 5 apresenta quais plataformas *Blockchain* foram utilizadas nas AS testadas na fase de construção e para qual uso. Observando o gráfico, constata-se uma preferência pelo uso das plataformas privadas como a *Hyperlegder, Azure* e *GoQuorum*.

Figura 5: Plataformas blockchain utilizadas para cada uso na fase de construção.



Fonte: os autores.

Embora haja uma tendência ao uso das plataformas privadas, há estudos que argumentam que as plataformas públicas são mais seguras, visto que não há o risco de os participantes corromperem a integridade do algoritmo de consenso [6]. Logo, a escolha do melhor tipo estará atrelada ao custo ou à priorização de uma ou duas das propriedades principais da *Blockchain*, visto que ainda não há um meio termo que atenda, simultaneamente, a descentralização, segurança e escalabilidade [2].

LIMITAÇÕES DA INTEGRAÇÃO ENTRE BIM, BLOCKCHAIN E OUTRAS TECNOLOGIAS DIGITAIS

Ao analisar os registros que desenvolveram e validaram uma AS, foi possível levantar 11 limitações enfrentadas pelos autores, citadas na Figura 6.

Figura 6: Evidências das limitações encontradas para a integração das tecnologias digitais.

Nº da Evidência	Códigos dos artigos	Limitações	Evidências	Referências
E1	A2, A3, A4	Complexidade do setor da construção civil	O setor da construção em todo o mundo é considerado lento para inovar, especialmente na adoção de integrações entre tecnologias digitais como BIM e BT.	[6], [7], [8]
E2	A1, A3, A4, A5, A6, A7	Falta de conhecimento e expertise	Faltam evidências de aplicações práticas e conhecimento sobre as integrações entre tecnologias digitais como BIM e BT na construção civil.	[9], [7], [8], [10], [2], [11]
E3	A1, A6	Tipo de plataforma blockchain	As plataformas públicas são mais descentralizadas e, por isso, mais seguranças contra violações. Porém, as plataformas privadas garantem melhor confidencialidade dos dados e escalabilidade da rede. Ainda não existe uma plataforma que atenda ao requisitos de descentralização, segurança e escalabilidade simultaneamente.	[9], [2]
E4	A2, A4, A7, A9	Escalabilidade	A plataforma blockchain precisa ter uma boa escalabilidade da rede, ou seja, a capacidade de lidar com um grande número de transações sendo realizadas ao mesmo tempo.	[6], [8], [11], [13]
E5	A3	Limitação de armazenamento da plataforma blockchain	A plataforma blockchain suporta uploads de formatos de dados limitados. Alguns arquivos grandes e valiosos podem comprometer o desempenho da plataforma.	[7]
E6	A2, A3, A4	Segurança dos contratos inteligentes	Os contratos inteligentes, precisam passar por uma verificação formal intensiva para garantir que o código não seja vulnerável a ataques.	[6], [7], [8]
E7	A4	Interoperabilidade	É importante garantir a troca de informações entre diferentes blockchains e integrar com sistemas tradicionais de gerenciamento de informações.	[8]
E8	A2, A9	Falhas na captura da realidade física	Os sistemas integrados compostos por sensores inteligentes pode classificar erroneamente a realidade capturada da construção e não identificar corretamente a extensão do progresso.	[6], [13]
E9	A1, A2, A3	Fatores humanos	As pessoas envolvidas podem cometer fraude no processo, induzindo a entrada de dados errados no sistema.	[9], [6], [7]
E10	A1, A3, A4, A7	Restrições financeiras	Inicialmente, a integração entre BIM, BT e outras tecnologias digitais pode ser cara para as organizações de construção. Haverá custos para o desenvolvimento, implantação, manutenção e monitoramento do sistema. Além disso, pode-se precisar de dinheiro disponibilizado antecipadamente para ficar no fundo que realizará os pagamentos automaticos, ou terá que fazê-los por meio de tokens ou criptomoedas.	[9], [7], [8], [11]
E11	A4, A8	Cenário político	Faltam regulamentos, leis, políticas e padrões relacionados que regulamentem a tecnologia blockchain no setor da construção civil.	[8], [12]

Fonte: os autores.

A análise das evidências apresentadas indica que a maior limitação enfrentada é a E2. Isto ocorre devido à ausência de aplicações no mundo real que comprovem os resultados previstos nos estudos não empíricos [2][7][8][9][10][11]. A figura 7 também ressalta que esta limitação se aplica a todos os usos levantados nesta pesquisa. O tom de verde mais escuro indica que há mais de um registro relacionado à evidência mencionada e o tom mais claro indica apenas um registro.

Além disso, a causa desta limitação está muito relacionada a outras duas, E1 e E11. Devido à grande resistência do setor da construção civil em incorporar tecnologias inovadoras [6][7][8] e a falta de um cenário político bem definido que regulamente o uso dessas TD [8][12], há pouco incentivo para o desenvolvimento de AS que possam ser testadas no mundo real.

Outras limitações relacionadas entre si são as E3, E4 e E10. A escolha do tipo de plataforma pode ser relacionada à escalabilidade e às restrições financeiras, já que existe um impasse quanto às propriedades da *Blockchain* que devem ser priorizadas. Como os custos iniciais podem ser altos, isso pode representar um empecilho para sua adoção [7][8][9][11]. Entretanto, o registro A5 [10] apresenta uma estimativa de custo acessível para projetos de médio e grande porte que pode reduzir esta limitação, embora só tenha sido testado em simulações computacionais.

Figura 7: Matriz da análise de evidências por usos da integração de BIM, Blockchain e outras TD.

	USOS DA INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS			
Limitações/desafios	**Automatização de pagamentos**	**Gerenciamento do controle de qualidade da obra**	**Rastreamento de dados do progresso da construção**	**Rastreamento de dados da cadeia de suprimentos**
Complexidade do setor da construção civil	E1	E1		
Falta de conhecimento e expertise	E2	E2	E2	E2
Tipo de plataforma blockchain	E3		E3	
Escalabilidade	E4	E4		E4
Limitação de armazenamento da plataforma blockchain		E5		
Segurança dos contratos inteligentes	E6	E6		
Interoperabilidade		E7		
Falhas na captura da realidade física	E8			E8
Fatores humanos	E9	E9		
Restrições financeiras	E10	E10		E10
Cenário político	E11	E11		

Fonte: o autor.

As E6 e E9 também foram bastante mencionadas pelos autores que aplicaram a integração para automatização de pagamentos e gerenciamento do controle de qualidade da obra. Ambas evidenciam que, embora a integração com BIM, *Blockchain* e outras TD traga mais segurança, confiabilidade e transparência aos processos, a entrada de dados ainda pode sofrer interferência maliciosa das pessoas envolvidas [6][7][9]. E os CI requerem uma verificação mais intensa para evitar vulnerabilidades no sistema [6][7][8].

CONCLUSÃO

Este estudo analisou a produção científica atual sobre estudos na fase de construção que estão testando AS com integração de BIM, *Blockchain* e outras TD. Com base nos

resultados, foi possível perceber que, embora o tema seja recente e não tenha tantos estudos empíricos, houve um aumento do interesse em investigar essas tecnologias na fase de construção. Contudo, os resultados sugerem que ainda há um déficit muito grande de estudos com aplicações no mundo real.

Na revisão também foi possível identificar que na fase de construção as aplicações práticas das AS estão mais focadas na automatização de pagamentos, gerenciamento do controle de qualidade da obra, rastreamento de dados de progresso da construção e rastreamento de dados da cadeia de suprimentos. Isto porque acabam envolvendo muitas pessoas e troca de informações que precisam estar disponíveis de forma transparente e segura para todos [2].

Após identificar os usos da integração, foi possível analisar as AS que estão sendo desenvolvidas e testadas. Os estudos analisados se concentraram no uso de plataformas *Blockchain* privadas, como a *Hyperledger, Azure* e *GoQuorum*, integradas a modelos BIM, SI e CI para automatização de pagamento e gerenciamento de dados, seja de progresso da construção ou da cadeia de suprimentos. Entretanto, a literatura internacional aponta alguns entraves quanto a adoção dessas integrações devido, principalmente, à falta de estudos aplicados no mundo real e incentivos do setor. Além disso, a *Blockchain* ainda apresenta algumas limitações atreladas ao seu tipo (privada ou pública), características de funcionalidade (escalabilidade, armazenamento e interoperabilidade) e custo que ainda gera incertezas quanto à melhor escolha.

Embora este artigo tenha alcançado o objetivo principal, vale destacar que o seu desenvolvimento teve algumas limitações. Seja com a escolha da quantidade de bases de dados, ou até mesmo quais foram utilizadas, a definição da *string* utilizada, a filtragem dos dados e o acesso aos registros. Como foi especificado na metodologia, esta revisão só considerou artigos de periódicos da área de engenharia civil, publicados em inglês e que validaram uma arquitetura de sistema.

Contudo, este artigo ainda serviu para dar um panorama geral sobre a integração entre BIM, *Blockchain* e outras TD na fase de construção. Cada AS analisada tem o potencial de ser uma porta de entrada para mais investimentos na digitalização dos processos do setor da construção. Para pesquisas futuras, sugere-se a realização de aplicações no mundo real para verificar a eficácia das AS propostas, elencar os entraves existentes e propor melhorias para sua implementação. Bem como, pesquisar e desenvolver outras AS que evidenciem qual o melhor tipo de plataforma *Blockchain* a ser empregada na construção civil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida à primeira autora.

REFERÊNCIAS

[1] PENZES, B. et al. Blockchain technology in the construction industry: Digital transformation for high productivity. Institution of Civil Engineers, 2018.

[2] LEE, D. et al. Integrated digital twin and blockchain framework to support accountable information sharing in construction projects. Automation in Construction, v.127, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103688

[3] YEVU, S. K.; YU, A. T.; DARKO, A. Digitalization of construction supply chain and procurement in the built environment: Emerging technologies and opportunities for sustainable processes. Journal of Cleaner Production, v. 322, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129093

[4] HIJAZI, A. A.; PERERA, S.; CALHEIROS, R. N.; ALASHWAL, A. Rationale for the Integration of BIM and Blockchain for the Construction Supply Chain Data Delivery: A Systematic Literature Review and Validation through Focus Group. J. Constr. Eng. Manage., v. 147, 2021. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002142

[5] LI, J.; KASSEM, M. Applications of distributed ledger technology (DLT) and Blockchain-enabled smart contracts in construction. Automation in Construction, v. 132, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103955

[6] HAMLEDARI, H.; FISCHER, M. Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies. Automation in Construction, v. 132, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103926

[7] SHENG, D.; DING, L. Y.; ZHONG, B. T.; LOVE, P. E. D.; LUO, H. B.; CHEN, J. G. Construction quality information management with blockchains. Automation in Construction, v. 120, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103373

[8] WU, H. T.; ZHONG, B. T.; LI, H.; GUO, J. D.; WANG, Y. H. On-Site Construction Quality Inspection Using Blockchain and Smart Contracts. J. Manage. Eng., v. 37, 2021. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000967

[9] CHONG, H.-Y.; DIAMANTOPOULOS, A. Integrating advanced technologies to uphold security of payment: Data flow diagram. Automation in Construction, v. 114, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103158

[10] CIOTTA, V.; MARINIELLO, G.; ASPRONE, D.; BOTTA, A.; MANFREDI, G. Integration of blockchains and smart contracts into construction information flows: Proof-of-concept. Automation in Construction, v. 132, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103925

[11] BRANDÍN, R.; ABRISHAMI, S. Information traceability platforms for asset data lifecycle: blockchain-based Technologies. Smart and Sustainable Built Environment, v. 10, 2021. DOI: https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2021-0042

[12] SIGALOV, K.; YE, X.; KÖNIG, M.; HAGEDORN, P.; BLUM, F.; SEVERIN, B.; HETTMER, M.; HÜCKINGHAUS, P.; WÖLKERLING, J.; GROß, D. Automated payment and contract management in the construction industry by integrating building information modeling and blockchain-based smart contracts. Appl. Sci., v.11, 2021. DOI; https://doi.org/10.3390/app11167653

[13] LI, C. Z.; CHEN, Z.; XUE, F.; KONG, X. T. R.; XIAO, B.; LAI, X.; ZHAO, Y. A blockchain- and IoT-based smart product-service system for the sustainability of prefabricated housing construction. Journal of Cleaner Production, v. 286, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125391