



ENTAC 2024

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



BIM e Blockchain: lacunas da literatura e regras de modelagem de dados para contrato inteligente

BIM and Blockchain: literature gaps and data modeling rules for smart contracts

Matheus Gomes Martins

Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | matheusgm@ufba.br

Fernanda Diniz Santana

Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | fernanda.diniz@ufba.br

Bruna Caroline Silvio de Almeida

Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | bruna.caroline@ufba.br

Reymard Sávio Sampaio de Melo

Universidade Federal da Bahia | Salvador | Brasil | reymard.savio@ufba.br

Resumo

Contratos inteligentes respaldados pela tecnologia blockchain e integrados ao modelo Building Information Modeling (BIM) para o pagamento de insumos ou serviços na construção civil tem se revelado uma solução promissora. Este artigo visa identificar as lacunas na literatura sobre a integração de BIM e Blockchain, além de propor regras de modelagem de dados para um contrato inteligente destinado ao pagamento de concreto para sistemas de paredes de concreto moldadas in loco. O método de pesquisa empregado foi o estudo de caso. Primeiramente, os autores desenvolveram um Modelo Entidade-Relacionamento (MER) analisando os requisitos envolvidos no processo de pagamento. Em seguida foi criado um Diagrama Entidade-Relacionamento (DER). Os resultados parciais indicam que a elaboração do MER e do DER representa etapas cruciais para o desenvolvimento de um contrato inteligente.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção. Contratos inteligentes. Blockchain. Modelagem de dados.

Abstract

Smart contracts, supported by blockchain technology and integrated with the Building Information Modeling (BIM) model, to pay inputs or services in civil construction has proven to be a promising solution. This article aims to identify gaps in the literature on integrating BIM and Blockchain and propose data modelling rules for a smart contract intended to pay concrete for cast-in-place concrete wall systems. The research method employed was the case study. First, the authors developed an Entity-Relationship Model (ERM) by analyzing the requirements involved in the payment process. Then, an Entity-Relationship Diagram (ERD) was created. The partial results indicate that the elaboration of the ER and ER represent crucial steps for developing a smart contract.

Keywords: Building Information Modeling. Smart contracts. Blockchain. Data modeling.



Como citar:

MARTINS, M.; SANTANA, F.; ALMEIDA, B.; MELO, R. BIM e Blockchain: lacunas da literatura e regras de modelagem de dados para contrato inteligente. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. Anais... Maceió: ANTAC, 2024.

INTRODUÇÃO

O pagamento do serviço de uma obra é realizado após o contratante aprovar o valor do progresso do serviço fornecido pelo contratado. Diante disso, podem surgir divergências sobre o custo referente à execução do serviço entre o contratante e o contratado, especialmente quando as condições de pagamento do contrato não são claras ou não são geridas adequadamente [1][2]. Essas discordâncias geram problemas como o atraso dos pagamentos e, portanto, tem impacto negativo no desempenho do projeto.

A integração do *Building Information Modeling* (BIM) com tecnologias de contratos inteligentes oferece uma alternativa promissora para melhorar o processo tradicional de administração de pagamentos progressivos, uma vez que o BIM permite a digitalização dos projetos de construção e os contratos inteligentes permitem a execução automatizada e garantida das condições contratuais. Daí o interesse na integração entre blockchain e BIM tem recebido atenção crescente nos últimos anos [3].

Recentemente, a blockchain emergiu como uma tecnologia inovadora e facilitou uma mudança de paradigma na gestão tradicional de processos de negócios, que são baseados principalmente em arquiteturas centralizadas que exigem terceiros confiáveis [4]. Os avanços tecnológicos na rede blockchain possibilitaram o desenvolvimento de contratos inteligentes que são sistemas confiáveis e prometem ser uma opção relevante para remodelar os processos de negócios tradicionais, pois podem diminuir os custos administrativos, melhorar a eficiência e construir confiança entre as partes interessadas [5].

Um contrato inteligente é um protocolo informatizado cuja implementação é automatizada através de um código executável que roda no blockchain. Os contratos inteligentes têm controle sobre os objetos físicos ou digitais de acordo com os termos acordados [6]. De acordo com [7] contrato inteligente é uma plataforma que processa e monitora os dados inseridos e armazenados na rede blockchain, tendo como base os termos contratuais preestabelecidos que podem ser codificados em uma linguagem de programação.

Embora a blockchain apresente potencial para a automatização do processo de pagamentos de progressos de obras, ainda há uma lacuna de pesquisa em relação à modelagem de dados necessária para desenvolvimento de uma rede blockchain. Há uma falta compreensão dos tipos de dados usados e armazenados em um banco de dados descentralizado, como a blockchain, e nas relações entre esses tipos de dados.

Sendo assim, percebe-se a necessidade de estruturar o projeto de sistemas de banco de dados através da geração de ferramentas que auxiliem este processo primário que são a Modelagem de Entidade-Relacionamento (MER) e sua representação gráfica na forma de um Diagrama Entidade-Relacionamento (DER)[8].

Para representar uma descrição abstrata do projeto de desenvolvimento, utiliza-se determinadas técnicas que sejam capazes de exemplificar, através de diagramas, a

modelagem de dados. Dentre o conjunto de técnicas existentes tem-se o modelo entidade-relacionamento. O MER baseia-se na percepção do mundo real como constituído por um conjunto de objetos básicos chamados entidades e relacionamentos e define uma técnica de diagramação para modelos de dados [9]. Além disso, elabora-se um modelo que seja inteligível para o desenvolvedor do banco, assim como pelo usuário final.

Um DER é um tipo de fluxograma que ilustra como entidades, pessoas, objetos ou conceitos, se relacionam entre si dentro de um sistema. Também conhecidos como DERs, ou modelos ER, usam um conjunto definido de símbolos geométricos e linhas de conexão para representar a interconectividade de entidades, relacionamentos e seus atributos [10][11].

Embora a modelagem de dados seja abordada em várias áreas de conhecimento além da construção civil, ela é essencial para a construção de um sistema blockchain. Os autores deste artigo realizaram uma busca na base de dados *Scopus*, utilizando a *string* ["smart contract" AND "data model*"] e direcionando a pesquisa para a área de ciência da computação, resultando em 10 publicações encontradas, das quais 3 abordam o uso da modelagem de dados para a construção de uma rede blockchain.

Segundo [12], a construção de uma rede blockchain envolve o estabelecimento de um modelo de entidade que permite a análise dos atributos e comportamentos de cada entidade, bem como suas interações. [13] destacam que o modelo de dados é usado para fornecer rastreabilidade em cadeias de suprimentos na área automotiva, abrangendo uma ampla gama de informações sobre as peças. [14] indicam que a modelagem de dados é usada como segunda etapa em sua metodologia de pesquisa, após a construção de um modelo de arquitetura do sistema. Eles desenvolvem o modelo de dados com a criação de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), projetado para armazenar dados de transações fora da blockchain, incluindo informações acadêmicas. O esquema do banco de dados descreve os relacionamentos, campos e atributos.

A pesquisa realizada mostra que a modelagem de dados, embora complexa, é crucial para redes blockchain. Ela organiza e gerencia informações de forma eficiente e segura, definindo e inter-relacionando todos os aspectos do sistema. Isso garante a integridade e consistência das informações, promovendo operações efetivas e decisões informadas.

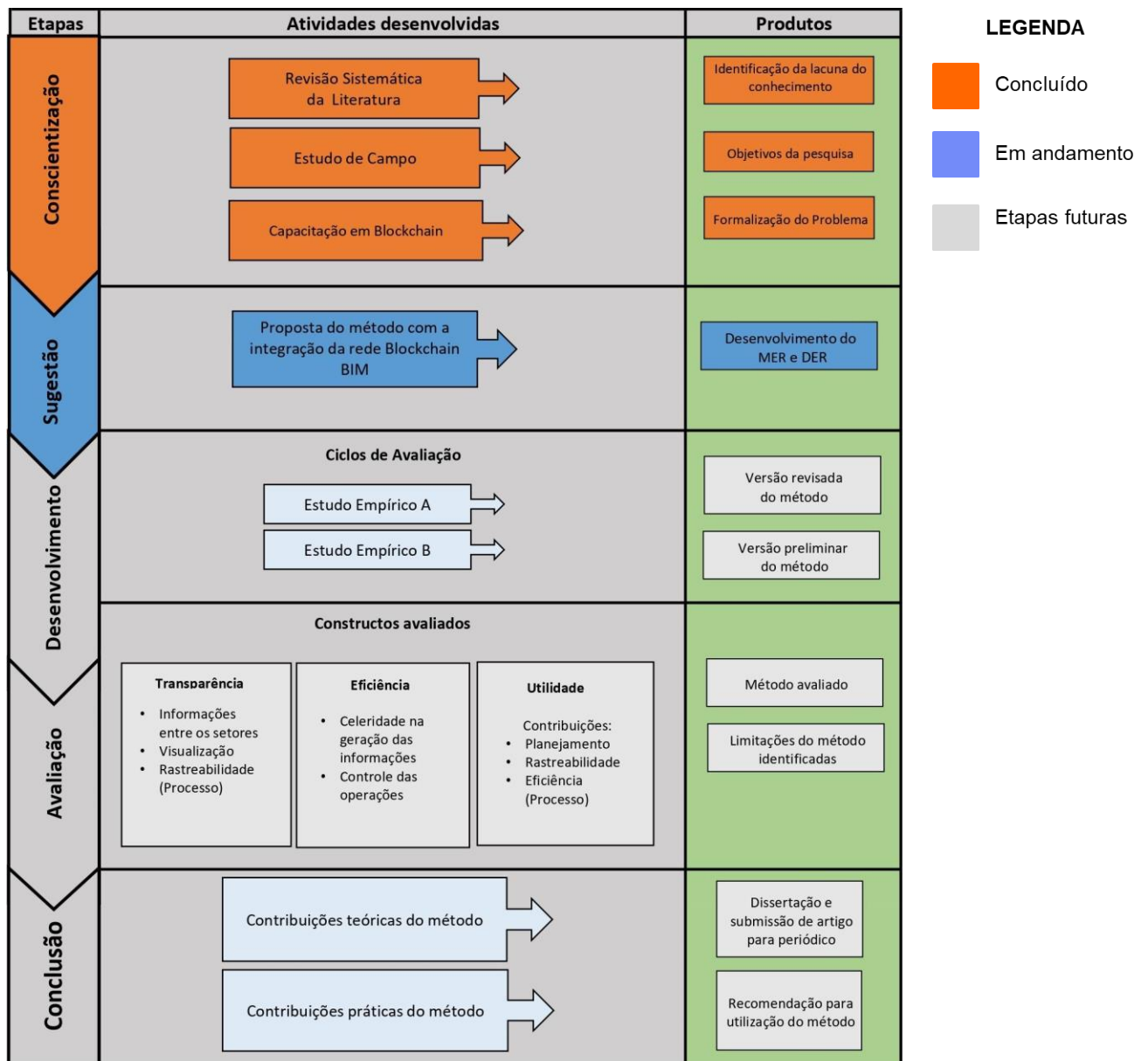
Este artigo visa identificar as lacunas na literatura sobre a integração de BIM e Blockchain, além de propor regras de modelagem de dados para um contrato inteligente destinado ao pagamento de concreto para sistemas de paredes de concreto moldadas in loco.

Para atingir esse objetivo, o artigo é estruturado com 2 seções principais. A seção 1 descreve o método de pesquisa, com um mapeamento da literatura sobre a integração de BIM e blockchain e uma análise do fluxo de pagamento de concreto e os desafios dessa integração. A seção 2 apresenta resultados parciais e discussão de questões levantadas.

MÉTODO

Este artigo adota como método de pesquisa a *Design Science Research* (DSR), que envolve a ação do pesquisador sobre um determinado panorama, compreendendo um problema, concebendo e validando uma possível solução [15]. Além do mais, o estudo apresenta uma etapa dos resultados parciais de uma dissertação de mestrado referente a etapa de conscientização do delineamento de pesquisa conforme a (Figura 1).

Figura 1: Etapas do delineamento da pesquisa da dissertação de mestrado



Fonte: o autor

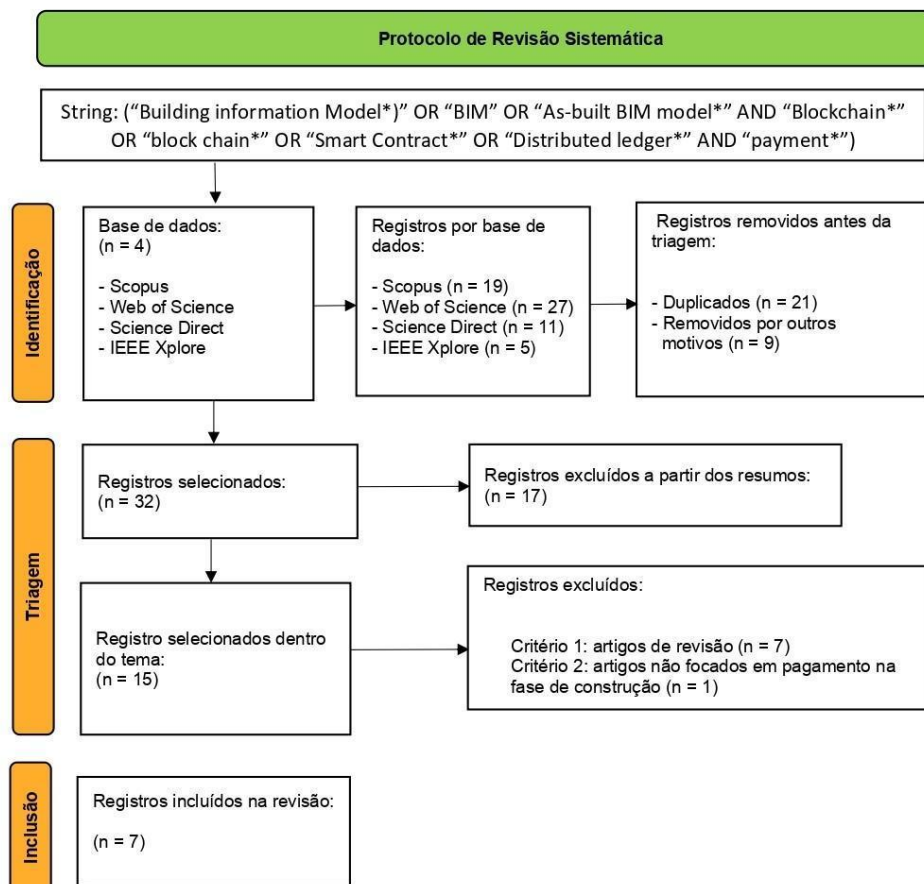
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A RSL conforme descrito no procedimento da (Figura 2), onde tem o objetivo de analisar o panorama atual da produção científica internacional relacionada à

integração entre BIM e Blockchain para o pagamento de serviços ou insumos durante a fase de construção. Para atingir esse objetivo, uma *string* de pesquisa foi executada inicialmente, selecionada com base na escassez de estudos sobre o tema, com a consideração de uma opção mais abrangente para ser aplicada nas bases de dados especificadas.

Os resultados foram filtrados de acordo com os seguintes tópicos, títulos, palavras-chaves e resumos, englobando apenas artigos em inglês de periódicos da área de engenharia.

Figura 2: Diagrama do protocolo de revisão sistemática



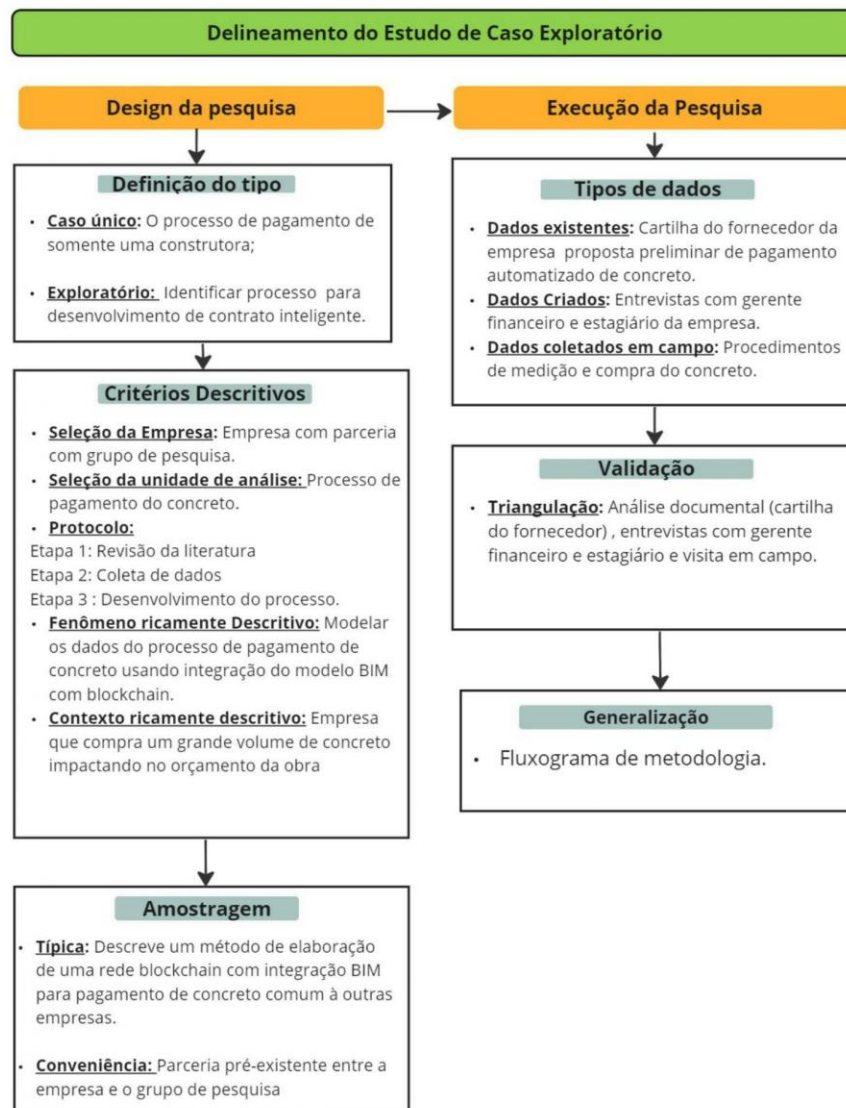
Fonte: o autor.

Antes da realização da etapa de triagem, foram agrupados e organizados todos os resultados da busca no *software Mendeley* para eliminação dos registros duplicados.

ESTUDO DE CASO EXPLORATÓRIO

A partir da análise anterior, a fim de compreender melhor as necessidades, desafios e requisitos para desenvolver a rede blockchain no setor da construção, foi realizado como método de pesquisa a construção do estudo de caso seguindo as melhores práticas propostas por [16]. Definição do tipo, critérios descritivos, amostragem, tipos de dados, validação e generalização [16] conforme a (Figura 3).

Figura 3: Delineamento da pesquisa



Fonte: o autor.

A primeira etapa consistiu na definição do tipo de estudo de caso. Neste trabalho, foi adotado um estudo de caso único, focado no processo de pagamento de uma construtora. Além disso, o estudo possui um propósito exploratório. Essa abordagem é especialmente adequada para situações em que há uma escassez de referências na literatura e de pesquisas anteriores conforme indicado por [17].

Na segunda etapa, são apresentados os critérios descritivos que justificam a escolha desse caso particular para exploração, além de oferecerem instrumentos que possibilitam sua replicação. Esses critérios incluem a seleção da empresa e da unidade de análise, o protocolo, o fenômeno e um contexto ricamente descritivo. A empresa selecionada atua na construção de empreendimentos habitacionais verticais usando o sistema construtivo de paredes de concreto moldadas *in loco*. O pagamento de concreto foi escolhido devido ao fato do concreto ser um dos insumos de maior representatividade nas obras da empresa investigada, resultando em um grande volume adquirido para as obras e gerando um impacto financeiro direto no orçamento.

Por exemplo, a empresa selecionada utiliza aproximadamente 153 m³ para um pavimento tipo. As etapas do estudo de caso foram as seguintes: realização de uma revisão sistemática da literatura; coleta de dados na empresa por meio de entrevistas e visitas em campo, além da análise do documento digital "Cartilha do Fornecedor" sobre as etapas do fluxo de pagamento de concreto em uma obra localizada em Salvador, com o objetivo de identificar os desafios existentes; e modelagem de dados para o pagamento de concreto.

Na terceira etapa, foi delineado o tipo de amostragem realizado para investigar o fenômeno de interesse. A amostra coletada neste estudo pode ser considerada como típica, uma vez que descreve um método de elaboração de uma rede blockchain com integração BIM para o pagamento de concreto, que é comum a outras empresas do setor. Ademais, optou-se por uma amostragem de conveniência, dada a proximidade e a existência de parceria entre a empresa e o grupo de pesquisa, o que facilitou a coleta de dados necessários para a pesquisa.

Na quarta etapa, procedemos à especificação dos tipos de dados utilizados no estudo, conforme classificação em existentes, criados ou coletados em campo, conforme segue: Os dados existentes compreendem um arquivo digital disponibilizado pela empresa, intitulado "Cartilha do Fornecedor". Este documento detalha o fluxo para emissão de notas fiscais e oferece instruções sobre como acompanhar esse processo. Os dados criados foram gerados por meio de entrevistas.

Foram realizadas duas entrevistas, uma com o gerente financeiro e outra com o estagiário de engenharia civil. Durante essas entrevistas, foram coletadas informações sobre o funcionamento do fluxo de pagamento, áreas com potencial para automação e os desafios enfrentados com o processo atual de pagamento. Os dados coletados em campo resultam da observação participante conduzida pelos autores durante o processo de medição e aquisição de concreto. Essa abordagem permitiu uma compreensão detalhada dos procedimentos e das interações envolvidas nesse aspecto específico da operação da empresa.

Segundo [16], é importante aplicar técnicas que garantam que os resultados sejam significativos com a validação interna e externa. Este estudo utiliza a técnica da triangulação através da sobreposição de informações coletadas de três fontes de perspectivas distintas que são: Documento da cartilha do fornecedor, entrevistas com dois funcionários e a observação participante dos autores em uma das obras da empresa. A última etapa é a de generalização, que consiste na capacidade de replicação da pesquisa em outros contextos.

RESULTADOS

Ao analisar os registros que desenvolveram contratos inteligentes com integração entre as tecnologias BIM e Blockchain, foi possível levantar 8 limitações enfrentadas pelos autores, citadas na(Figura 4).

Figura 4: Evidências das limitações encontradas para a integração BIM e Blockchain

Nº da Evidência	Códigos dos artigos	Limitações	Evidências	Referências
E1	A1 , A6, A7	Complexidade do setor da construção civil	O uso das tecnologias BIM e BC é desafiadora devido à resistência à mudança e à lenta adoção de na indústria da construção civil.	[18][23][24]
E2	A2, A3, A4, A5, A6,A7	Falta de modelagem de dados	A modelagem de dados é uma ferramenta que auxilia na concepção inicial de uma rede blockchain, para identificação dos integrantes da rede.	[18] [19] [20] [21] [22] [23]
E3	A2, A6, A7	Intervenção humana	As pessoas podem cometer erros quanto a adição de dados e verificação, como também cometer fraudes.	[19][23][24]
E4	A1	Cenário político	Faltam regulamentos, leis, políticas e padrões relacionados que regulamentem a blockchain na construção civil	[18]
E5	A5, A6, A7	Falta de informações sobre a integração entre BIM e Blockchain	Para que a integração entre a plataforma BIM e a Blockchain seja reproduzida e refutada por outros estudos, é necessário um alto nível de detalhamento do processo, para melhor compreensão.	[22] [23] [24]
E6	A2, A4	Restrições financeiras	Para o desenvolvimento dos contratos existem custos que podem ser altos, para as organizações de construção. Há custos referentes ao desenvolvimento, implantação e manutenção. Além de haver a necessidade do custo da criptomoeda para realizar as transações.	[19] [21]
E7	A1,A3,A5, A6	Falta de aplicação prática	Faltam evidências de aplicações dos contrato inteligentes no cenário real para que possam ser corroborados e validados.	[18] [20] [22] [23]
E8	A1	Escalabilidade	A rede blockchain precisa ter uma efetiva escalabilidade, ou seja, a capacidade de lidar com grande número de transações sendo realizadas ao mesmo tempo	[18]

Fonte: o autor.

Para que se possa identificar com clareza os artigos de acordo com os códigos mencionados na (Figura 4) tem-se esta distribuição: A1 [18], A2][19], A3][20], A4][21], A5][22],A6 [23] e A7[24].

A análise das evidências apresentadas, indica que a maior limitação enfrentada é a E2. Isto ocorre, uma das prováveis causas é que os estudos anteriores não detalham as etapas que precedem o desenvolvimento do contrato inteligente. A segunda evidência com maior número de ocorrência é a E7, este fato acontece devido à ausência de aplicações no mundo real que comprovem os resultados previstos nos estudos não empíricos [18][20][22][23]. Além disso, a causa desta limitação está muito relacionada a outras duas, E1 e E4. Por causa da elevada resistência dentro da indústria da construção civil em integrar tecnologias inovadoras [18][23][24] e a ausência de um cenário político bem estabelecido que regulamente o uso dessas tecnologias digitais. [18], há pouco incentivo para o desenvolvimento de contratos inteligentes para pagamentos progressivos que possam ser testadas no mundo real.

Outra evidência que cabe destacar, é a E5, isto é decorrente porque os estudos [22] [23][24], priorizam mais as etapas de desenvolvimento da rede e respectivamente do contrato inteligente e deixam de detalhar a integração entre BIM e Blockchain que da maioria das vezes ocorre por meio de uma API. Estes dados são fundamentais para que os demais pesquisadores possam ter referências em seus trabalhos.

ANÁLISE DETALHADA DOS REQUISITOS TECNOLÓGICOS

Com a amostra final dos 7 artigos supracitados, provenientes da revisão sistemática da literatura, foi desenvolvida uma base de dados com os principais requisitos tecnológicos mais aplicados no uso da rede Blockchain. Os artigos foram catalogados com base no ano de publicação, na rede blockchain utilizada, se apresenta modelagem de dados, no tipo de aquisição, e na natureza do estudo, demonstrada na (Figura 6) . Esta última, é separada em três categorias de pesquisa conforme [25] a saber: prova de conceito, estudo de caso e aplicação real (Figura 5).

Figura 5. Natureza do estudo

Natureza do estudo	Descrição
Simulação de prova de conceito	Uma aplicação proposta de DLT que é demonstrada por simulação computacional ou protótipo.
Estudo de caso	Considera a aplicação da DLT analisando um estudo de caso (hipotético ou baseado em cenários do mundo real) que pode ou não incluir simulação computacional.
Aplicação no mundo real	Artigos que demonstram uma aplicação proposta em um cenário do mundo real.

Fonte: Li e Kassem, 2021.

Figura 6: Registro de dados sobre os requisitos tecnológicos aplicados no uso da rede Blockchain.

Código dos Artigos	Ano de publicação	Rede blockchain	Modelagem de dados	Tipo de aquisição	Natureza do estudo	Referência
A1	2022	Hyper Ledger Fabric	Sim	Não informado	Prova de conceito	[18]
A2	2022	Ethereum	Não	Materiais de construção de edifício	Aplicação real	[19]
A3	2021	Ethereum	Não	Materiais de construção de edifício	Estudo de caso	[20]
A4	2022	Ethereum	Não	Pré-fabricados de concreto	Aplicação real	[21]
A5	2022	Hyper Ledger Fabric	Não	Construção de Hospital	Prova de conceito	[22]
A6	2020	Hyper Ledger Fabric	Não	Complexo de 100 casas idênticas.	Prova de conceito	[23]
A7	2021	Ethereum	Não	Elementos da construção	Aplicação real	[24]

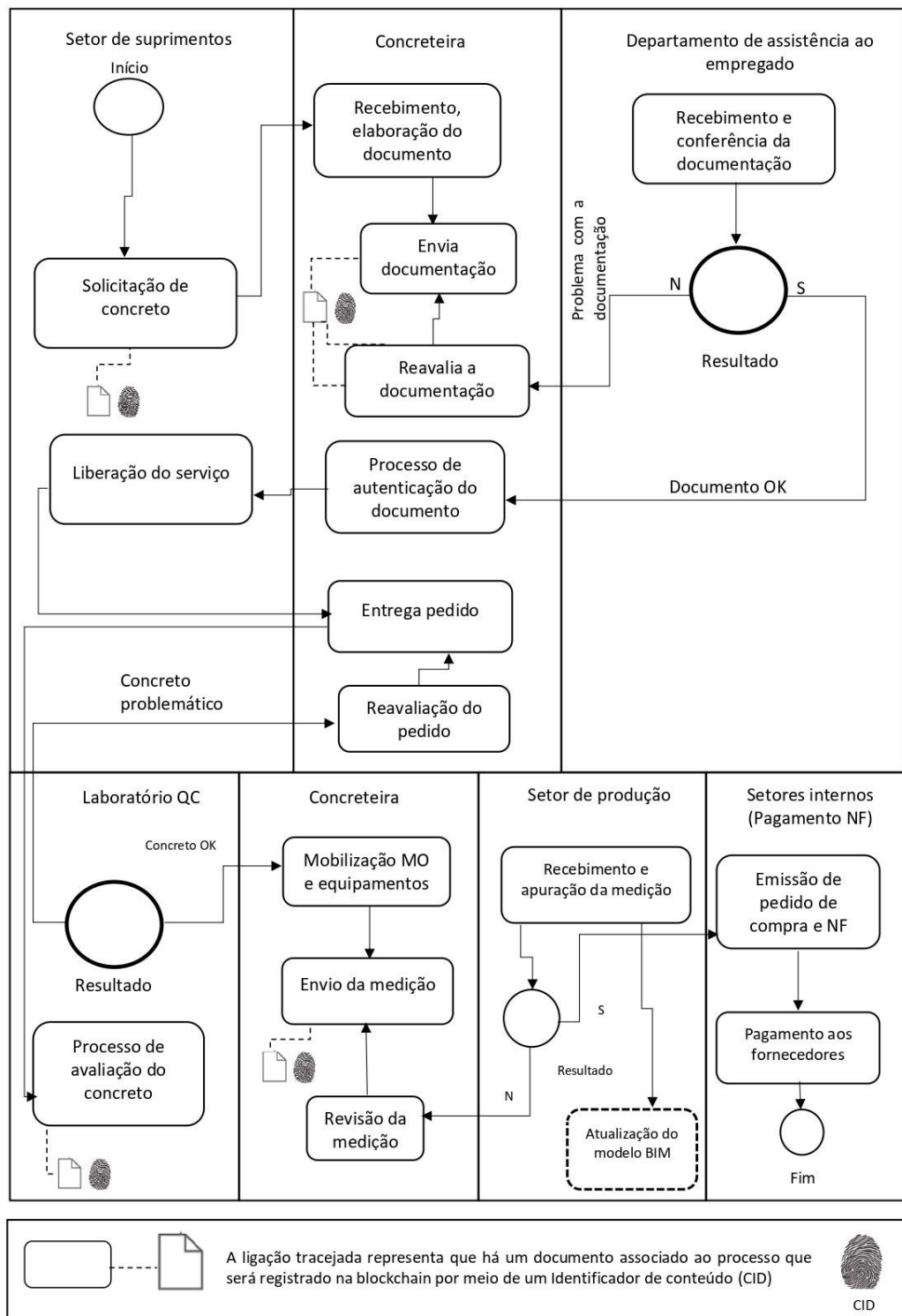
Fonte: o autor.

Adicionalmente, durante a análise dos artigos observou-se que apesar de todos os artigos abordarem a integração entre Bim e Blockchain, é uma abordagem superficial pois muitos artigos não detalharam o desenvolvimento dessas APIs, deixando de mencionar qual API específica foi utilizada e como foi realizada sua implementação.

MODELAGEM DE DADOS

No contexto específico do fluxo de pagamento de concreto, com base na proposta de integração da rede blockchain e BIM apresentada por [26], que delinea a visão futura do fluxo de liberação de pagamento de concreto da Empresa X, foi desenvolvido um fluxograma simplificado como mostra a (Figura 7).

Figura 7: Fluxograma simplificado do fluxo de liberação de pagamento



Fonte : Adaptado de Piccoli *et al.*, (2022).

No fluxograma acima o processo inicia na solicitação de concreto pelo setor de suprimentos e todo fluxo vai seguindo, produzindo diversos documentos e análises até terminar, que é o pagamento dos fornecedores envolvidos. Cabe destacar que foi adicionado a representação de atualizações efetuadas no modelo BIM as built do volume de concreto a ser empregado no sistema construtivo.

Pode-se observar na (Figura 7) que cada um desses processos representa uma solicitação de transação na rede blockchain. As organizações envolvidas atuam com o papel de endossamento e validação. Também foi considerado o arquivo digital da empresa denominado "Cartilha do Fornecedor", sendo assim, sugere-se a elaboração preliminar de um MER e um DER.

Este diagrama, construído a partir das descrições do Modelo Entidade-Relacionamento (MER) é baseado no fluxograma preliminar do fluxo de liberação de pagamento (Figura 7), foi desenvolvido para garantir que a estrutura de dados refletisse o processo simplificado de pagamento de concreto, ainda sem todas as opções de alternativas inerentes dessa transação. Essa abordagem facilita a gestão, rastreamento e integridade das informações, alinhando as operações de negócio com a modelagem de dados relacional. A inclusão dos atores principais (Construtora, Concreteira e Laboratório de Controle e Qualidade) como entidades no DER permite uma representação clara e precisa das interações e transações, assegurando que todas as partes do processo sejam definidas e rastreáveis.

Nesse cenário, observa-se a existência de três entidades principais: Processo, Documento e Histórico de Movimentação do Documento. Cada uma dessas entidades desempenha um papel fundamental no fluxo de pagamento de concreto, com a entidade Processo servindo como o ponto central que coordena as interações entre os documentos e o histórico de movimentação. Além disso, a modelagem inclui três atores principais: Construtora, Concreteira e Laboratório de Controle e Qualidade, que serão posteriormente os principais nós da rede blockchain.

A entidade processo, pela sua natureza multifacetada, engloba uma variedade de outras entidades que definem seu tipo e representa todas as atividades envolvidas no fluxo de pagamento de concreto, desde a solicitação inicial do material até a emissão da nota fiscal. Dentro desse amplo espectro de operações, incluem-se etapas cruciais como a requisição de concreto, sua avaliação, medição e todas as demais atividades relevantes que compõem o processo.

É fundamental ressaltar que a entidade processo não apenas inicia as operações a serem realizadas, mas também é responsável por gerar uma variedade de documentos ao longo do fluxo de pagamento. Por exemplo, se o processo estiver relacionado à solicitação de concreto, ele gerará o documento de pedido de suprimento.

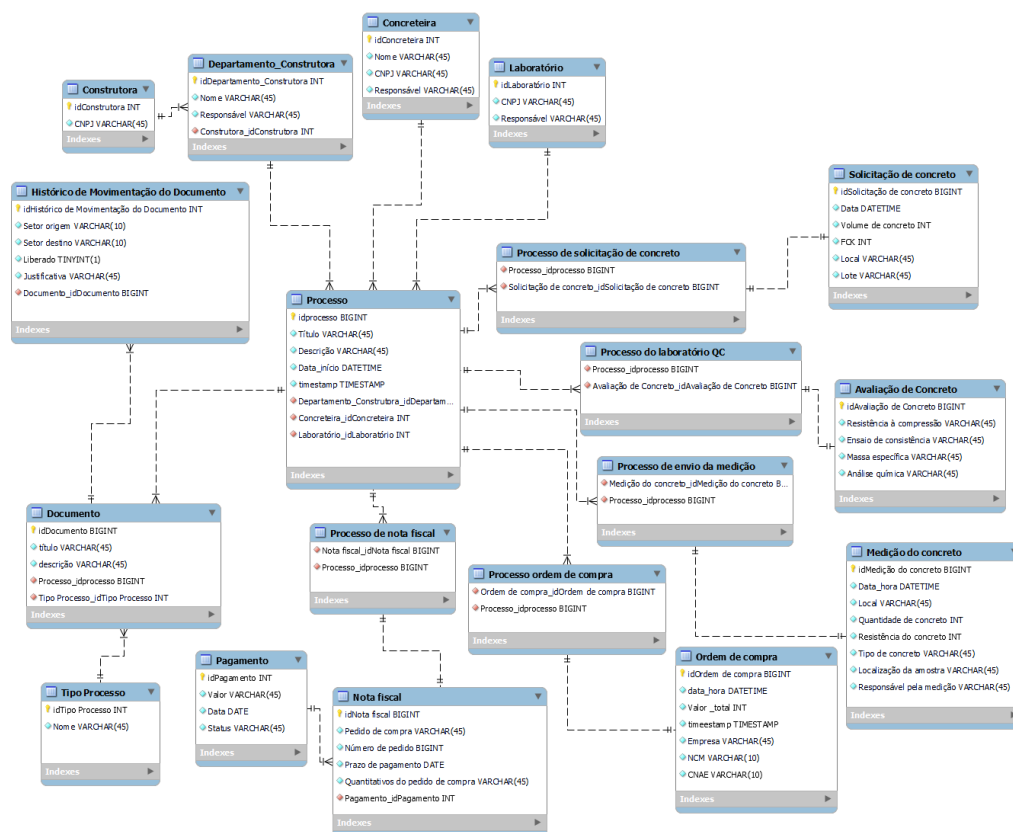
Da mesma forma, se estiver envolvido na avaliação do concreto, produzirá o relatório correspondente a essa avaliação. Essa capacidade de gerar diferentes tipos de documentos evidencia a versatilidade da entidade no processo e sua importância no contexto do fluxo de pagamento de concreto, e então, estabelece-se uma relação de 1 para N com a entidade documento.

Ademais, a entidade processo também estabelece uma relação de 1 para N com as entidades que definem seu tipo, uma vez que o processo pode ser de vários tipos, como mencionado anteriormente.

A entidade Histórico de Movimentações desempenha um papel crucial para manter os registros e detalhes no contexto do fluxo de pagamento de concreto (Figura 7). Ela representa todo o trajeto percorrido por um documento desde o seu início até a conclusão da operação de um determinado processo. Isso é especialmente relevante, uma vez que, dentro desse fluxo, um documento pode não ser liberado e precisar retornar à origem para uma reavaliação. Isso permite uma compreensão abrangente de todas as etapas pelas quais o documento passou, incluindo eventuais revisões, reavaliações ou rejeições. Essa transparência e rastreabilidade são essenciais para garantir a integridade e a eficiência do processo de pagamento de concreto. Além disso, é importante destacar que o Histórico de Movimentações estabelece uma relação de N para 1 com a entidade documento. Isso significa que um documento pode ter vários históricos associados a ele, refletindo as diferentes mudanças e atualizações ocorridas ao longo do tempo.

A partir das análises descritas, foi elaborado o DER, conforme ilustrado na Figura 8, utilizando a estrutura SQL no software MySQL Workbench. Esta ferramenta permite criar e modificar tabelas, definir chaves estrangeiras e visualizar o DER de maneira clara e estruturada, o que agiliza o processo de desenvolvimento e minimiza erros. A visualização das relações entre as tabelas no MySQL Workbench ajuda a garantir que todas as interações entre as entidades sejam bem definidas e coerentes com o fluxo de trabalho descrito.

Figura 8: Diagrama Entidade-Relacionamento do fluxo de pagamento de concreto



Fonte: o autor.

Com base no diagrama, é possível visualizar as entidades, seus atributos e os relacionamentos descritos anteriormente. Durante sua elaboração, foram realizados ajustes para aprimorar a organização e a estrutura do modelo, visando uma melhor representação dos dados. Esses ajustes incluem: Criação de tabelas intermediárias para representar o relacionamento da entidade processo com seus diferentes tipos. Essas tabelas contêm chaves estrangeiras da entidade processo e dos tipos de processo, facilitando a identificação dos tipos associados a cada instância do processo.

Além disso, a introdução da entidade "Tipo de Processo", com uma chave estrangeira na entidade documento, desempenha um papel importante. Essa abordagem visa facilitar a identificação dos documentos vinculados a um processo específico, garantindo uma maior fluidez no fluxo de trabalho. Ao estabelecer essa relação entre documentos e tipos de processo, evitam-se interrupções desnecessárias, especialmente quando múltiplos documentos estão associados a um mesmo processo em andamento.

Por fim, a criação da modelagem de dados desempenha um papel fundamental no processo de desenvolvimento de uma rede blockchain. Ela garante a integridade dos dados no fluxo de pagamento de concreto, identificando entidades essenciais, seus relacionamentos, definindo os atributos necessários, e quais serão os atores.

INTERAÇÃO ENTRE MODELO BIM E REDE BLOCKCHAIN

A entrega de dados BIM deve estar no formato *Industry Foundation Classes* (IFC) (ifcXML) para ser recuperada usando linguagem como JavaScript ou Go, utilizada pela plataforma blockchain. A rede blockchain que será utilizada para desenvolver o contrato inteligente é a *Hyperledger Fabric* (HLF) por oferecer elevado grau de flexibilidade e confidencialidade em seu design e implementação, o que a torna útil em muitas das aplicações de ambiente construído [27].

CONCLUSÃO

A evolução constante das tecnologias exige flexibilidade, inovação e uma ampliação de horizontes por parte daqueles interessados. Assim sendo, a tecnologia blockchain se prova como uma ferramenta indispensável quando se fala em automatização do pagamento, o que permite contornar as deficiências na gestão financeira na indústria da construção, conforme foi possível perceber com a revisão sistemática da literatura. Além disso, a integração supracitada maximiza a segurança nas transações, a eficiência na manipulação e uso dos dados das dimensões BIM (4D e 5D), bem como, a garantia na redução significativa do erro humano. Embora os estudos anteriores mencionados neste artigo proponham protótipos de contratos inteligentes para demonstrar a integração de BIM e blockchain, falta uma metodologia detalhada que os usuários possam validar e transformar em um banco de dados físico para colocar processos em movimento e compreender quais informações precisam ser armazenadas na blockchain de forma confiável.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de mestrado concedida ao primeiro autor, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (Fapesb) pela bolsa de iniciação científica da segunda autora e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica da terceira autora.

REFERÊNCIAS

- [1] ABOTALEB, S.; EL-ADAWAY, I.; Administering employers payment obligations under national and international design–build standard forms of contract. **Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction**, v. 9. n. 2. 2017. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000213](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000213).
- [2] DEMACHKIEH, F.; M.ABDUL-MALAK. Administration of construction contract interim payments based on earned-value reduction techniques, **Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction**, v. 11. n. 4. 2019. DOI : <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29LA.1943-4170.0000309>.
- [3] XUE, F.; LU, W. A semantic differential transaction approach to minimizing information redundancy for BIM and blockchain integration. **Automation in. Construction**, v. 118, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103270>.
- [4] CASINO, F.; T.K. DASAKLIS.; C. PATSAKIS. A systematic literature review of blockchain based applications: current status, classification and open issues, *Telematics Inform.* v. 36, p. 55–81. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2018.11.006>.

- [5] Z. ZHENG.; S. XIE.; H.-N. DAL.; W. CHEN.; X. CHEN.; J. WENG.; M. IMRAN. An overview on smart contracts: challenges, advances and platforms. **Future Generation Computer Systems**, v. 105, p. 475–491, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.12.019>.
- [6] RASKINN, M. The law and legality of smart contracts, Georg. **Law Technology Review**.305 (2017) 305–341, <https://doi.org/10.2139/ssrn.2842258>.
- [7] PETERS, G.W.; PANAYI, E. Understanding Modern Banking Records Through Blockchain Technologies: Future of Transaction Processing and Smart Contracts in the Internet of Money, **Banking Beyond Banks and Money**, Springer, Cham, 2016, pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-42448-4>
- [8] 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. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 147, 2021. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002142](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002142).
- [9] MACHADO, F. **Banco de Dados: Projeto e Implementação**.3. ed.São Paulo Saraiva Educação SA, 2018.
- [10] SORDI, J. ; O,PICCHIAL.; D, COSTA.; M, SANCHES. Competências críticas ao desenvolvimento de mapas cognitivos de redes interorganizacionais. **Revista de Administração Pública**, v. 43, p. 1181-1206. 2009.
- [11] GENONG, Y.; LIPING, D.; ZHANG, B;WANG, H.Coordination Through Geospatial Web Service Workflow in the Sensor Web Environment. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 3, p. 433–441. 2010.
- [12] LIU, YU; ZENG, JUFANG. Blockchain based Big Data Platform of City Brain. **ICBCT '21: Proceedings of the 2021 3rd International Conference on Blockchain Technology**, 2021, p.82-89. DOI: <https://doi.org/10.1145/3460537.3460561>.
- [13] ALSADI, MOHAMMED; ARSHAD, JUNAID; ALI, JAHID; PRINCE, ALOUSSEYNOU. TruCert: Blockchain-based trustworthy product certification within autonomous automotive supply chains. **Computers and Electrical Engineering**, v109, part B, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108738>.
- [14] SUSENO, T. R. DARMAWAN; AFRIANTO, IRAWAN; ATIN, SUFAR. Strengthening data integrity in academic document recording with blockchain and InterPlanetary file system. **International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)**, v14. n°2, 2024. DOI: <http://doi.org/10.11591/ijece.v14i2.pp1759-1769>.
- [15] HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. Design science research in information systems. **Design research in information systems: theory and practice**, p. 9-22, 2010.
- [16] ARAÚJO, L. G.; LUCKO, G. Best Practices for Case Studies in Construction Engineering and Management Research. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol. 148, n. 8, ago. 2022. DOI:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002312](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002312)
- [17] YIN, R. Estudo de Caso: **Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2001
- [18] HIJAZI, A.; A., PERERA.; S, CALHEIROS, R.; N, ALASHWAL. A data model for integrating BIM and blockchain to enable a single source of truth for the construction supply chain data delivery. **Engineering Construction and Architectural Management**, v. 30, p. 4645–4664. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2022-0209>.
- [19] SONMEZ, R.;AHMADISHEYKHSARMAST, S.; GÜNGÖR, A. BIM integrated smart contract for construction project progress payment administration. **Automation in Construction**, v. 139. 2022. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104294>.

- [20] SIGALOV, K., et al. Automated payment and contract management in the construction industry by integrating building information modeling and blockchain-based smart contracts. **Applied Sciences**, v. 11, n. 16, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11167653>.
- [21] GROESEN, V.; W, PAUWELS. Tracking prefabricated assets and compliance using quick response (QR) codes, blockchain and smart contract technology. **Automation in Construction**, v. 141, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104420>.
- [22] ELGHAISH, F.; P, RAHIMIAN, F, HOSSEINI.; M. R., EDWARDS.; D, SHELBOURN. Financial management of construction projects: Hyperledger fabric and chaincode solutions. **Automation in Construction**, v. 137, mai. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104185>
- [23] ELGHAISH, F.; ABRISHAMI, S.; F, HOSSEINI, M. R, EDWARDS. Integrated project delivery with blockchain: An automated financial system. **Automation in Construction**, v. 114 jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103182>
- [24] HAMLEDARI, H.; FISCHER, M. Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies. **Automation in Construction**, v. 132, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103926>.
- [25] LI, JENNIFER; KASSEM, MOHAMAD. Applications of distributed ledger technology (DLT) and Blockchain-enabled smart contracts under construction. **Automation in construction**, vol. 132, dezembro de 2021.
- [26] PICCOLI, D. L.; TREBINO, F. S.; NASCIMENTO, N. R. L.; MELO, R. S. S. de; ALBERTE, E. P. V. Proposta de automatização de pagamento do concreto de paredes moldadas in loco integrando BIM e Blockchain. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção**, 4., 2023. Anais.. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–12. DOI: 10.46421/sbtic.v4i00.2639.
- [27] NAWARI, NO. Blockchain technologies: hyperledger fabric in BIM work processes. **International Conference on Computing in Civil and Construction Engineering, Springer**, pp, Digital engineering standard Part 1 – concepts and principles. 2020.