



Gestão & Gerenciamento

SMART CONTRACTS E BIM NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UM ESTUDO DE CASO SOBRE AUTOMAÇÃO DE MEDIÇÕES PARCIAIS

*SMART CONTRACTS AND BIM: A CASE STUDY ON THE AUTOMATION
OF PROGRESS PAYMENTS*

André Soares de Castro

Engenheiro Civil; Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil

andresdecastro@ufrj.br

Willy Weissshuhn

Doutor em Engenharia Civil; Professor Convidado NPPG - Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

willy.weissshuhn@poli.ufrj.br

Resumo

Na indústria da construção, a celebração de contratos é necessária para regular as relações entre investidores, empreiteiros, subempreiteiros e clientes, abrangendo materiais, serviços e mão de obra. Esses contratos resultam em medições contratuais, que verificam a qualidade e quantidade dos serviços, permitindo pagamentos intermediários. Contudo, os processos tradicionais de medição carecem frequentemente de precisão, confiabilidade, segurança e rastreabilidade, gerando problemas de gestão e conflitos. Com o surgimento da tecnologia *blockchain*, surgem contratos inteligentes (*smart contracts*), que replicam contratos vinculativos em código na rede *blockchain*, automatizando medições parciais e aprimorando-as. O objetivo deste estudo é identificar melhorias em medições parciais, pela implementação de BIM e *Smart Contracts*. Estudou-se o caso de uma empresa de grande porte, mapeando e analisando seu processo de medições contratuais. Foi desenvolvido um fluxograma representando o estado atual (*AS-IS*), identificando oportunidades de melhoria na gestão das informações. Em seguida, elaborou-se um fluxograma do estado futuro (*TO-BE*), incorporando *smart contracts* e BIM. A análise indica que a integração de *Smart Contracts* e BIM pode otimizar a precisão, reduzir erros, melhorar o controle financeiro e a governança, além de agilizar os pagamentos, trazendo maior segurança e transparência às transações.

Palavra-Chave: Medições Parciais, *Smart Contracts*, BIM, *Blockchain*, Melhoria de Processos.

Abstract

In the construction industry, contracting is necessary to regulate relationships between investors, contractors, subcontractors, and clients, covering materials, services, and labor. These contracts result in progress payments, which verify the quality and quantity of services, allowing for partial payments. However, traditional processes to get a measurement sheet often lack accuracy, reliability, security, and traceability, leading to management problems and conflicts. With the advent of blockchain technology, smart contracts have emerged, replicating binding contracts through code on the blockchain network, automating progress payments and improving them. The aim of this study is to identify improvements in progress payments through the implementation of BIM and Smart Contracts. The case of a large company was studied, mapping and analyzing its progress payments process. A flowchart was developed to represent the current state (AS-IS), identifying opportunities for improvement in information management. Then, a flowchart representing the future state (TO-BE) was created, incorporating smart contracts and BIM. The analysis indicates that the integration of Smart Contracts and BIM can optimize accuracy, reduce errors, improve financial control and governance, as well as expedite payments, bringing greater security and transparency to transactions.

Keywords: Progress Payments; Smart Contracts; BIM; Blockchain; Process Improvement.

1 Introdução

Em meio a expansão das tecnologias de informação, comunicação e digitalização dos processos de produção, surge o conceito de Indústria 4.0, designado como uma forma de produção altamente integrada com tecnologias digitais, como IoT (internet das coisas), big data, analytics, cloud computing e robótica (SACOMANO, SÁTYRO, 2018). O *Blockchain* é uma destas novas tecnologias que provocam o interesse crescente de pesquisadores que vislumbram possibilidades de aplicações em processos de manufatura (PETRONI, 2022).

Apesar de os primeiros estudos que originaram o conceito de *Blockchain* terem ocorrido no início da década de 1990, o código aberto que consolidou a tecnologia foi

lançado em 2008, no artigo "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*", atribuído ao pseudônimo Satoshi Nakamoto.

O *Blockchain* pode ser definido como um Livro Razão público distribuído que registra todos os dados de transações compartilhados entre as partes dentro do sistema, GHAZI, A. *et al.* (2022). Na contabilidade, o Livro Razão é um registro de escrituração que tem a finalidade de coletar dados cronológicos de todas as transações. Com a tecnologia *blockchain*, o Livro Razão registra cada sequência de transações do início ao fim, resultando em registros certos, verificáveis e irreversíveis de todas as transações já realizadas (CROSBY *et al.*, 2016).

A assimilação do *Blockchain* em outros campos de conhecimento foi imediata. No campo jurídico as características do *Blockchain* poderiam reduzir a insegurança jurídica dos contratos convencionais, e assim foram criados os Smart Contracts. Ghazi *et al.* (2022). Segundo um dos pioneiros nesta tecnologia, Nick Szabo (1997), em *The idea of smart contracts*, os *Smart Contracts* são um protocolo de transação informatizado que busca replicar contratos juridicamente vinculativos por meio de um código executado na rede pública *blockchain*.

Estudos acadêmicos sobre *Smart Contracts* vêm sendo desenvolvidos nos mais diversos setores. As aplicações mais convencionais são nas áreas de Gestão de Contratos, Segurança da Computação e Telecomunicações, entretanto há diversas aplicações interdisciplinares como Energia, Saúde e Construção. Exemplos de aplicações recentes podem ser encontrados no aprimoramento da comercialização e controle de emissões de carbono na automatização da plataforma de serviços agrícolas (BHADRA *et al.*, 2022), na estrutura de comércio de energia excedente (ABDULLA, 2021).

Na Indústria da Construção, setor explorado por este artigo, as mais recentes aplicações permeiam a implementação de *Smart Contracts* associados a tecnologia BIM e automação de pagamentos de contratos (SONMEZ, 2022), otimização da segurança e transparência de processos licitatórios. Também existem estudos sobre a aplicação de *Smart Contracts* a cadeia de suprimentos da construção civil (HAMLEDARI, FISCHER, 2021).

De forma similar, este trabalho tem como proposta estudar as melhorias proporcionadas pela implementação de *Smart Contracts* associados à metodologia BIM no contexto das medições parciais em obras de construção civil, buscando maior transparência, segurança e automação nos processos, em uma empresa nacional de grande porte.

2 Materiais e Métodos

2.1 Aspectos Gerais

A principal questão de investigação deste estudo pode ser representada pela pergunta:

A principal questão de investigação deste estudo pode ser representada pela pergunta: "Os *Smart Contracts* associados à tecnologia BIM podem contribuir na otimização de medições contratuais de obras civis?". Para isso, foi empregado o método de estudo de caso, com análise aprofundada do processo investigado. Inicialmente, foi criado um fluxograma representando o estado atual ("AS-IS") do processo de medição em uma

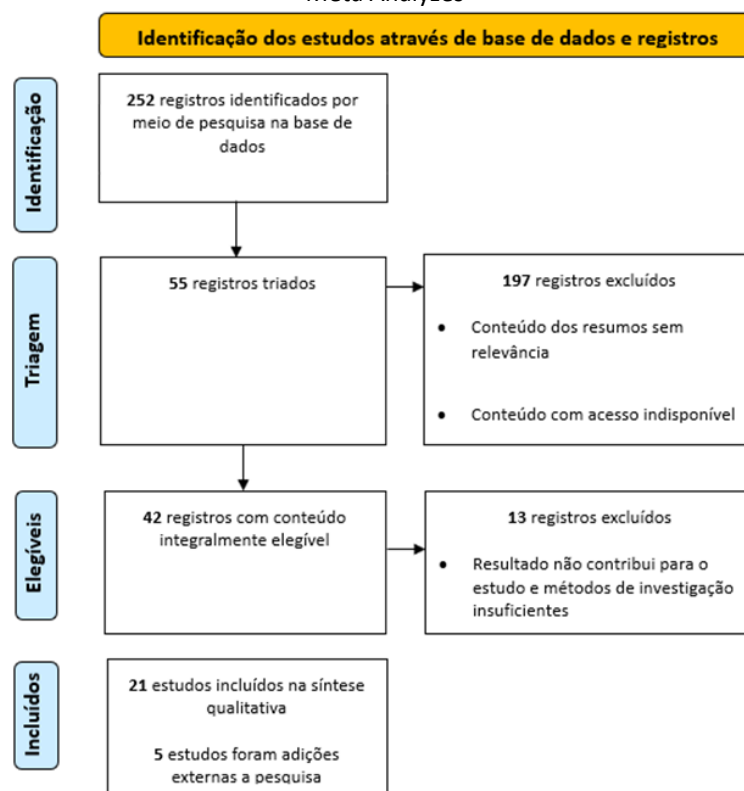
construtora nacional de grande porte. Em seguida, elaborou-se um segundo fluxograma representando o estado futuro ("TO-BE") do processo de pagamento, incorporando a tecnologia de *Smart Contracts* associada à metodologia BIM.

2.2 Pesquisa Bibliográfica

Como mecanismos de busca e bases de dados, foi utilizada a Web of Science. A estratégia principal consistiu em realizar uma leitura exploratória baseada em um breve exame dos títulos e resumos, com o objetivo de eliminar todos os artigos que não apresentassem qualquer evidência ou informação relacionada aos temas em questão. Através desse critério de seleção, buscamos classificar os artigos em alta aderência, média aderência e baixa aderência. Os artigos de baixa aderência foram excluídos, enquanto os de alta e média aderência seguiram para uma leitura seletiva. Os artigos cujos resumos foram selecionados passaram por leitura integral, excluindo-se aqueles que não apresentavam informações primárias relevantes para as questões de pesquisa.

A partir das palavras-chave, foram identificados 252 artigos publicados nos últimos cinco anos, dos quais 12 foram excluídos devido a restrições de acesso na plataforma CAPES. Após a análise dos títulos e resumos, 197 artigos foram descartados por falta de clareza, relevância ou por apresentarem acesso indisponível. Restaram, então, 55 artigos para uma análise mais aprofundada, onde 13 registros adicionais foram excluídos por não contribuírem para o objetivo do estudo ou por métodos de investigação insuficientes. A Figura 1 ilustra o processo de identificação e seleção dos estudos, conforme o fluxograma PRISMA.

Figura 1 - Pesquisa bibliográfica a partir do PRISMA - Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses



Fonte: Os Autores

Ao final dessa triagem, 42 artigos foram considerados integralmente elegíveis para a síntese qualitativa. Além desses, foram incluídos 5 artigos adicionais que, embora não fizessem parte da lista inicial, atenderam aos critérios de relevância. Por fim, 21 artigos foram incluídos na síntese qualitativa, juntamente com os 5 adicionais, totalizando 26 artigos utilizados no estudo. A partir dessa base, foi desenvolvido um processo de melhoria para a medição de contratos parciais utilizando *Smart Contracts* e BIM.

2.3 Metodologia

O estudo de caso analisou o processo de medição atual de serviços de empreiteiros subcontratados, através da realização de uma entrevista com a Coordenadora de Planejamento Financeiro da empresa em estudo. Essa entrevista forneceu percepções fundamentais sobre os desafios práticos e operacionais enfrentados no processo de medição. Com base nas informações obtidas, foi escolhida a metodologia *Business Process Management* (BPM). Segundo Dumas *et al.* (2013), em *Fundamentals of Business Process Management*, trata-se da arte e ciência de supervisionar como o trabalho é realizado em uma organização, garantindo resultados consistentes e aproveitando oportunidades de melhorias. De forma complementar, tem-se a definição fornecida no site online BPMN.ORG, onde *Business Process Management* é descrito como um modelo padrão que fornece às empresas a capacidade de entender seus procedimentos internos de negócios em uma notação gráfica, permitindo que as organizações comuniquem esses procedimentos de maneira padronizada.

Na abordagem BPM, duas etapas são de extrema importância: a representação do estado atual e do estado futuro dos processos de negócio. Segundo Dumas *et al.* (2013), o ciclo de vida BPM possui algumas etapas: Identificação do processo, Processo de descoberta, Análise do processo, redesenho do processo, Implementação do processo, Monitoramento e controle do processo. O objetivo deste artigo é utilizar essa metodologia e percorrer todas as fases do BPM, com exceção das duas últimas, visto que o processo redesenhado não foi efetivamente implementado.

Na primeira parte deste estudo, seguindo a metodologia BPM, o processo foi mapeado e representado em um fluxograma denominado "AS-IS", para identificar e delimitar suas etapas. Na segunda parte, o processo atual foi analisado com base nas oportunidades de melhorias apontadas pela empresa. Na terceira parte, foi idealizado e sugerido um novo processo, no qual as soluções encontradas na literatura, envolvendo *Smart Contracts* e tecnologia BIM, foram implementadas, resultando em um novo fluxograma, denominado "TO-BE". Na quarta e última etapa, integrada à apresentação do fluxograma "TO-BE", são discutidas as dificuldades de implementação do novo processo e propostas soluções para superá-las.

3 Revisão da literatura

3.1 Medições e Pagamentos progressivos

Em projetos de construção, o empregador faz pagamentos periódicos ao empreiteiro pelo trabalho executado, para que o empreiteiro possa financiar os recursos necessários para concluir o projeto (SONMEZ *et al.*, 2022). A ação de medir o contrato para realizar estes pagamentos é comumente conhecida como medição e é através desta ação que os

pagamentos progressivos são aprovados e executados. Fonseca (2014), define também, medições na construção, como um modo de definir e quantificar de forma objetiva os trabalhos previstos ou executados em uma obra. A medição contratual desempenha um papel importante na execução de uma obra, pois ao registrar com precisão as quantidades de serviços executados, os gestores de projeto podem tomar decisões informadas quanto ao orçamento, programação e alocação de recursos, além de alimentar o fluxo de caixa das empresas contratadas (YANG *et al.*, 2020).

3.2 *Building Information Modelling (BIM)*

Por vezes a metodologia BIM (*Building Information Modelling*) pode ser confundida com um software para modelagem 3D, porém numa melhor definição, BIM é uma ferramenta tecnológica que auxilia a gestão de informações. (LI, 2021). Succar (2015) define BIM como "um conjunto de políticas, processos e tecnologias interativos que geram uma metodologia para gerenciar os dados essenciais do projeto do edifício em formato digital ao longo do ciclo de vida do edifício".

3.3 *Blockchain*

Segundo Ghazi *et al.* (2022), *blockchain* pode ser definido como um livro-razão público distribuído que registra todos os dados de transações compartilhados entre as partes dentro do sistema. Na contabilidade, o Livro Razão é um registro de escrituração que tem a finalidade de coletar dados cronológicos de todas as transações. Com a tecnologia *blockchain*, o livro-razão registra cada sequência de transações do início ao fim, resultando em registros certos, verificáveis e irreversíveis de todas as transações já realizadas (CROSBY, *et al* 2016).

O funcionamento do *Blockchain* é mais bem explicado por Lucena (2016), afirmando que a tecnologia é fundamentada nos seguintes princípios: funções de mão única (normalmente funções *hash*), registro do tempo da criação ou modificação do arquivo (*timestamp*), assinatura digital do autor da alteração do arquivo, rede descentralizada *peer-to-peer* e mecanismo de geração de um novo bloco do *blockchain*.

- Funções de mão única ou Função *Hash*: As funções criptográficas de mão única, conhecidas como *Hash*, são aquelas que permitem a operação em um sentido, mas é completamente inviável realizar no sentido oposto, além disso apresentam saídas únicas, dado uma entrada.
- Timestamp: A finalidade do registro de tempo da transação é armazenar o momento em que ocorreu qualquer alteração no *blockchain* e prevenir possíveis fraudes temporais.
- Assinatura digital: Segundo Rocha (2019), chave privada é uma senha de acesso, que apenas o proprietário pode usar, servindo como autenticador para utilizar os fundos registrados. Já a chave pública pode ser visualizada pelas outras partes integrantes da rede. A chave pública é gerada a partir da privada, sendo utilizada como destino final para transações.
- Rede descentralizada (*peer-to-peer*): cria a possibilidade de que todas as alterações ou acréscimos no mesmo possam ser avaliadas quanto a sua validade pela maioria dos *peers*, impossibilitando a alteração dos dados e consolidação de informações incorretas. Visto, que ainda que seja possível esta alteração seria facilmente verificável por outros *peers* da rede.

- Processo de geração de novos blocos: Toda vez que uma função *hash* é resolvida por minerador acrescentando um novo bloco a rede *blockchain*, um valor em criptomoeda é dado usuário que o adicionou (LUCENA, 2016).

3.4 *Smart Contracts*

Segundo um dos pioneiros na ideia *Smart Contracts*, Nick Szabo, em *The Idea of Smart Contracts*, a tecnologia é um protocolo de transação informatizado que busca replicar contratos juridicamente vinculativos por meio de um código executado na rede pública *blockchain*. Em outras palavras, cláusulas e instruções podem ser programadas e inseridas na rede *blockchain*. O processo envolve a concordância inicial das partes quanto aos termos de um contrato específico. Isso significa que os parâmetros do projeto são discutidos e acordados entre todas as partes envolvidas. Posteriormente, esses termos acordados são codificados automaticamente para definir os parâmetros do projeto em uma linguagem de programação sólida. Existem diferentes graus de descentralização para sistemas que utilizam a tecnologia *blockchain*, e não é necessário - e, na maioria dos casos, não é útil - armazenar tudo na *blockchain* ou ter todos os processos executados como contratos inteligentes. Portanto, um bom equilíbrio entre componentes centralizados e descentralizados deve ser encontrado ao desenvolver contratos inteligentes e os aplicativos *blockchain* "híbridos" resultantes (YANG *et al.*, 2020,).

Os estudos sobre *blockchain* e *smart contracts* permeiam várias áreas atualmente. Exemplos rotineiros podem ser encontrados no mercado financeiro, energia, gestão governamental, medicina ou na construção civil, área abordada por este estudo. No mercado financeiro, Song et al (2022) estuda métodos de melhoria de confiança e segurança por meio do uso de *Smart Contracts* em *Fintechs*. A ausência de um mediador para as transações bancárias traz significativas melhorias ao processo. Há inovações no comércio de energia P2P descritas por Khan e Byun (2021), onde usuários que possuem eletricidade excedente podem vendê-la para as estações de carregamento por meio de contratos inteligentes, ou comercializá-la em micro redes, como sugere Condon (2023). Também é possível encontrar aplicações na gestão governamental, onde a tecnologia é utilizada para a auditabilidade do processo de votação (VERMA, 2021). Bhadra et al(2021) apresenta aplicações de *smart contracts* e *blockchain* em *frameworks* para a agricultura, onde são empregados para gerenciar a cadeia de suprimentos. Grandes inovações vêm sendo propostas por inúmeros autores para a construção civil e engenharia. Gerenciamento de contratos, gestão de suprimentos, gestão de dados e segurança da informação são temas recorrentes. No estudo de Raj (2022), é possível analisar a aplicação de *smart contracts* na cadeia de suprimentos da construção. Neste estudo, o *smart contract* proposto beneficia o fornecedor ao reduzir o risco de não pagamento e favorece o comprador com a entrega pontual e rastreamento do produto. Existem outros estudos que utilizam os *smart contracts* e BIM para automatizar o processo de medição e pagamentos em obras, como os abordados por Sigalov et al (2021), Sonmez et al (2022) e Li e Kassem (2021), estando esses fortemente relacionados com a linha de pesquisa abordada neste artigo. Hamlendari e Fischer (2021) vão além; ao utilizar *Smart Contracts* e tecnologia BIM, integrados a veículos aéreos e terrestres não tripulados, para realizar o levantamento autônomo dos serviços a serem medidos e pagos. O artigo apresenta uma solução automatizada para a gestão de pagamentos, combinando contratos inteligentes baseados em *blockchain* com tecnologias robóticas de captura de realidade. O progresso da construção é capturado, analisado e

documentado por meio de sensoriamento, inteligência artificial e modelagem de informação da construção (BIM) em sua versão "*as-built*". O monitoramento, análise e registro do avanço da obra são feitos usando técnicas de sensoriamento, aprendizado de máquina e BIM *as-built*. As informações sobre o andamento da obra são armazenadas de forma distribuída em sistemas de compartilhamento de arquivos. Esses dados são então encaminhados para um contrato inteligente, que administra tanto os pagamentos quanto a transferência de direitos de garantia, utilizando criptomoedas e *tokens* não fungíveis (NFTs). Esse método foi aplicado com sucesso em dois projetos comerciais nos Estados Unidos e no Canadá, envolvendo sete subcontratados. O monitoramento do progresso foi realizado por drones com câmeras e veículos terrestres não tripulados (UGVs) equipados com escâners a laser. A abordagem se mostrou eficaz ao eliminar intermediários nos sistemas tradicionais de pagamento, resultando em uma gestão financeira mais precisa e eficiente.

4 Resultados e discussões

4.1 Concepção do fluxograma

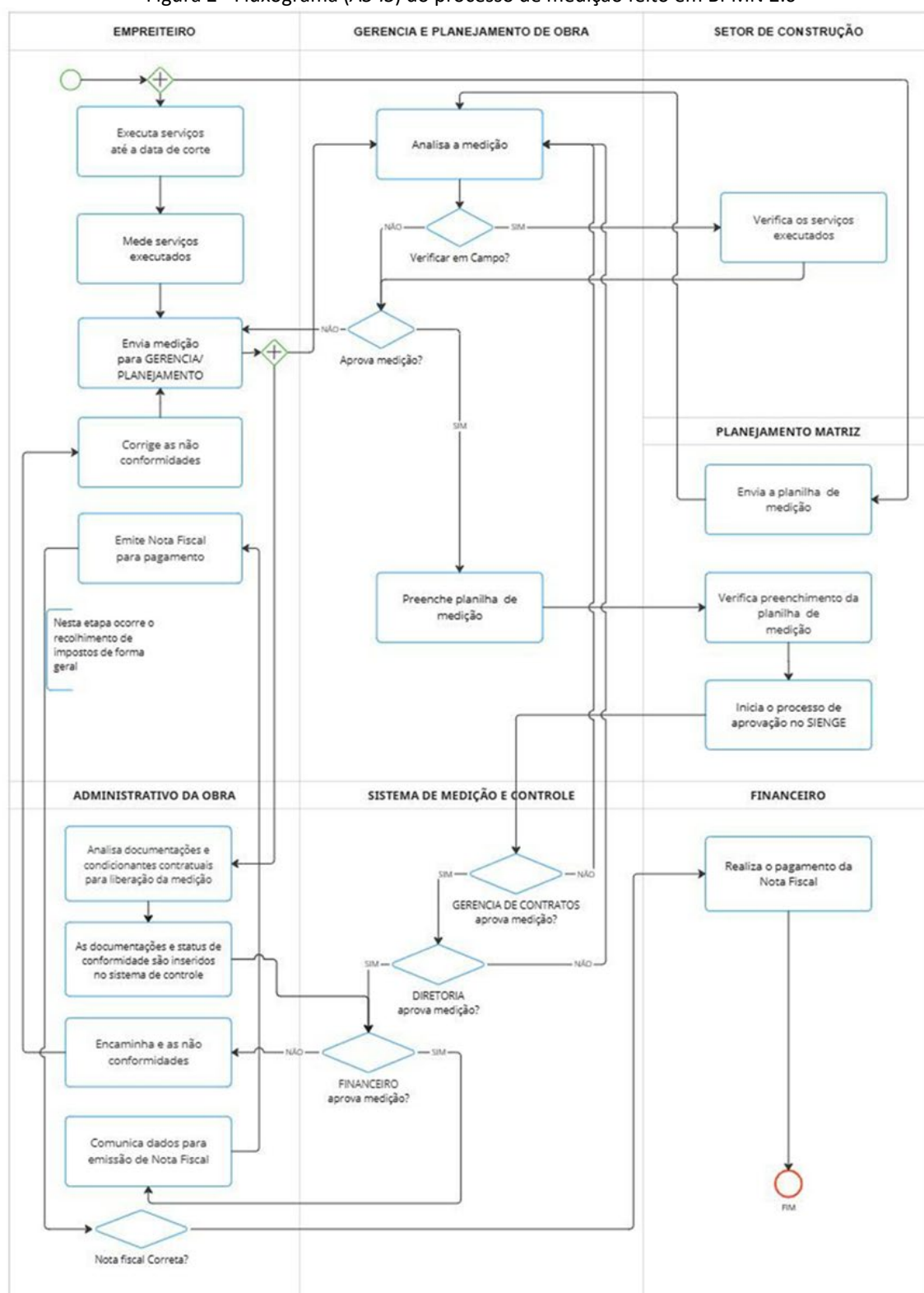
O processo de medição inicia-se após o empreiteiro executar os serviços, até uma data de corte, prevista em contrato, quando então mede a quantidade dos serviços realizados nos últimos trinta dias. Essa medição é enviada para a Gerência ou Planejamento de Obra. Em seguida, o setor de Planejamento Financeiro, Planejamento Matriz, da empresa encaminha uma planilha, denominada "Planilha de Medição" para que a Gerência ou o Planejamento de Obra a preencha com os dados das medições. Após receber a medição, a Gerência ou Planejamento de Obra analisa os dados enviados pelo empreiteiro e, se necessário, realiza uma verificação em campo.

Simultaneamente, o Administrativo de Obra revisa as documentações e as condicionantes contratuais para liberar a medição, inserindo essas informações no Sistema de Controle, denominado Plataforma REGRHAN, para que o setor Financeiro possa analisar. Se a medição estiver correta, a Gerência/Planejamento de Obra aprova e reenvia a planilha preenchida ao Planejamento Financeiro, caso contrário, a medição é devolvida ao empreiteiro para que seja feita as correções pertinentes.

O Planejamento Financeiro revisa a planilha e inicia o processo de aprovação no sistema de medição (SIENGE), onde o fluxo de aprovações segue pelas alçadas. Primeiramente, a Gerência de Contratos (primeira alçada) analisa e aprova a medição, encaminhando-a para a Diretoria caso esteja correta. Caso contrário, ela é devolvida para ajustes. A Diretoria (segunda alçada) analisa a medição, e, se aprovada, a envia para o Financeiro. Caso contrário, retorna para correção.

O setor Financeiro (terceira alçada) faz sua verificação e, se aprovada, comunica ao Administrativo de Obra para que solicite ao empreiteiro a emissão da Nota Fiscal. A Nota Fiscal é então emitida e, se estiver correta, o Financeiro Matriz realiza o pagamento. Caso haja problemas, o processo retorna para ajustes. O fluxo se finaliza com o pagamento da Nota Fiscal, realizado pelo Setor Financeiro. Na Figura 2, há uma representação do Fluxograma do Estado atual elucidado anteriormente.

Figura 2 - Fluxograma (AS-IS) do processo de medição feito em BPMN 2.0



Fonte: Os Autores

4.1.1 Principais oportunidades de melhoria no estado atual

As principais oportunidades de melhorias apontadas nesta seção foram identificadas a partir da análise da entrevista realizada com a empresa em estudo, bem como a avaliação

detalhada do fluxograma BPM do estado atual do processo de medição. A seguir, apresentam-se as principais questões e pontos discutidos:

a. Despadronização dos Contratos

A ausência de padronização nos contratos firmados em cada obra, ou até dentro de uma mesma obra, dificulta o processo de análise e submissão das medições no sistema, gerando uma desconexão entre a visão de campo e a dos gestores que analisam as medições. Além disso, o distanciamento das alçadas externas à obra dificulta a compreensão das peculiaridades de cada contrato ou da realidade em campo, agravando o problema da despadroneização.

b. Inconsistências nas Notas Fiscais e Pagamentos

Foram apontadas inconsistências no processo de emissão de notas fiscais, uma vez que o pagamento só é efetuado se todos os documentos forem enviados ao departamento financeiro, gerando um risco adicional caso algo seja esquecido. Adicionalmente, as alíquotas de impostos variam conforme o estado, e certos benefícios fiscais específicos tornam o processo de auditoria mais complexo, exigindo consultas frequentes à contabilidade. No entanto, isso está diretamente relacionado à complexidade do sistema tributário brasileiro.

c. Atrasos e Protesto de Notas

Quando uma nota fiscal de um empreiteiro ou fornecedor não é paga e resulta em um protesto contra a empresa, o departamento financeiro é o primeiro a ser informado. Esse departamento, então, notifica a Coordenadoria de Planejamento Financeiro para investigar as causas do problema. Embora esses incidentes sejam incomuns, eles geralmente estão relacionados a questões de materiais, que são geridos pelo setor de suprimentos.

d. Falta de Automação e Integração das Planilhas com o Sistema de Medição

Anteriormente, as obras tinham autonomia para ajustar as planilhas de medição, o que gerava inconsistências. Atualmente, as planilhas são centralizadas para garantir a integridade dos dados. No entanto, todas as planilhas de cada obra são editadas e revisadas manualmente em diferentes momentos do processo de medição. Além disso, essas planilhas não apresentam compatibilidade com o sistema de medição, Sienge, obrigando os envolvidos a transcrever os dados para essa plataforma, para, finalmente, iniciar o processo de medição nas alçadas.

e. Limitação de Pagamentos para Controle de Produção

Foi mencionada uma estratégia de limitar o valor pago aos empreiteiros para garantir que a produção continue em ritmo constante, evitando que um pagamento elevado desestime a continuidade do trabalho. Essa estratégia é realizada, na maioria das vezes, de forma manual, com análise caso a caso, gerando lentidão e desgaste para os envolvidos.

f. Problemas com Saldo de Contratos e Aditivos

É comum que o saldo do contrato já esteja esgotado no momento da medição, um problema que decorre de falhas no processo de aditivos ou na gestão contratual. A falta de comunicação entre os setores de obra e o administrativo agrava essa situação. A

necessidade de realizar aditivos só é percebida no momento da medição, causando atritos entre a gerência da obra, o administrativo e o planejamento da matriz.

g. Resistência à Automatização e Flexibilidade no Campo

Embora a automatização dos processos seja considerada benéfica para o escritório, no campo a situação é diferente. As constantes mudanças nos escopos dos contratos e os ajustes necessários dificultam a aplicação eficaz de sistemas automatizados. Contratos de verba fechada, com ajustes frequentes, enfrentam mais dificuldades, enquanto contratos de preço unitário, com escopos fixos, se beneficiariam mais da automatização.

h. Problemas de Comunicação e Controle no Campo

A ausência de pessoal adequado no campo, como apropriadores e controladores de máquinas, impede o acompanhamento preciso dos serviços executados. Isso resulta em medições inconsistentes e dificuldades na apropriação de custos. A falta de controle também está associada à escassez de mão de obra qualificada, o que leva a ajustes e aumentos de valores fora do planejado, além da falta de transparência nos valores medidos.

4.2 Estado futuro do processo de medição

4.2.1 Melhorias propostas

O primeiro item sugerido para ser adicionado ao processo é a medição realizada por meio de um *plugin* BIM. Plugins são pedaços de software que estendem as capacidades e funcionalidades de um software já existente (SELA, 2019). No caso, o plugin BIM (*Building Information Modeling*) permite a seleção dos itens medidos para a emissão de um relatório de medição, automatizando e padronizando esse processo. Essa tecnologia foi implementada por Sonmez *et al.* (2022), que desenvolveram um plugin chamado BIMSMTPAY. Este *plugin* facilita a seleção e visualização dos elementos de construção concluídos durante um período de pagamento, automatiza o cálculo das quantidades de acordo com o procedimento acordado e integra os dados de progresso reais ao contrato inteligente.

Outra tecnologia adotada é a API (*Application Programming Interface*, ou Interface de Programação de Aplicação). Segundo Kornienko *et al* (2022), uma API é um conjunto de métodos e regras que permite que os aplicativos troquem mensagens e transfiram dados. Em geral, as APIs consistem em classes, funções e estruturas de um programa que interagem com outros programas. Nesse contexto, a API facilita a integração entre sistemas, possibilitando a troca automática de dados sem a necessidade de intervenção manual. Por sua vez, a API RESTful é uma API que utiliza um servidor REST, atendendo a todos os requisitos dessa arquitetura. REST é uma interface simples para a transferência de informações, que não faz uso de camadas de software de terceiros. Isso significa que, ao enviar dados, não há etapa de conversão; as informações são entregues em sua forma original, o que resulta em um efeito benéfico na carga do cliente, mas pode adicionar uma sobrecarga na parte da rede (KORNIEKO, 2022).

A união dessas duas tecnologias evita o envio e a correção manual de planilhas de medição para a obra (Oportunidade de Melhoria 5), além de solucionar as inconsistências nas notas fiscais e pagamentos (Oportunidade de Melhoria 4) e os problemas de comunicação e controle no campo (Oportunidade de Melhoria 9). Para resolver o problema apontado pela Coordenadora de Planejamento Matriz quanto à limitação de pagamentos

para o controle de produção (Oportunidade de Melhoria 6), foi sugerida a implementação de acordos de nível de serviço, mais conhecidos como Service Level Agreements (SLAs).

De acordo com Tan *et al.* (2021), os Acordos de Nível de Serviço (SLA) definem o comportamento e a qualidade das propriedades de um serviço, estabelecendo parâmetros que garantem a Qualidade de Serviço (QoS, do inglês *Quality of Service*). A QoS refere-se ao conjunto de requisitos relacionados ao desempenho e à eficiência de um serviço, como tempo de resposta, disponibilidade, uso de recursos, entre outros. Segundo Unger, Mietzner e Leymann (2009), SLAs podem ser personalizados para descrever os requisitos específicos de QoS de acordo com as necessidades comerciais individuais dos clientes, facilitando a terceirização. Esses acordos garantem que o serviço atenda a padrões de desempenho previamente acordados entre o provedor e o cliente. Diante disso, é possível aplicar bônus ou penalidades conforme o cumprimento das metas contratuais. Essa abordagem permite manter os terceirizados orientados por metas claras e contratuais, o que contribui para a redução da evasão após o pagamento de grandes valores referentes à medição dos serviços.

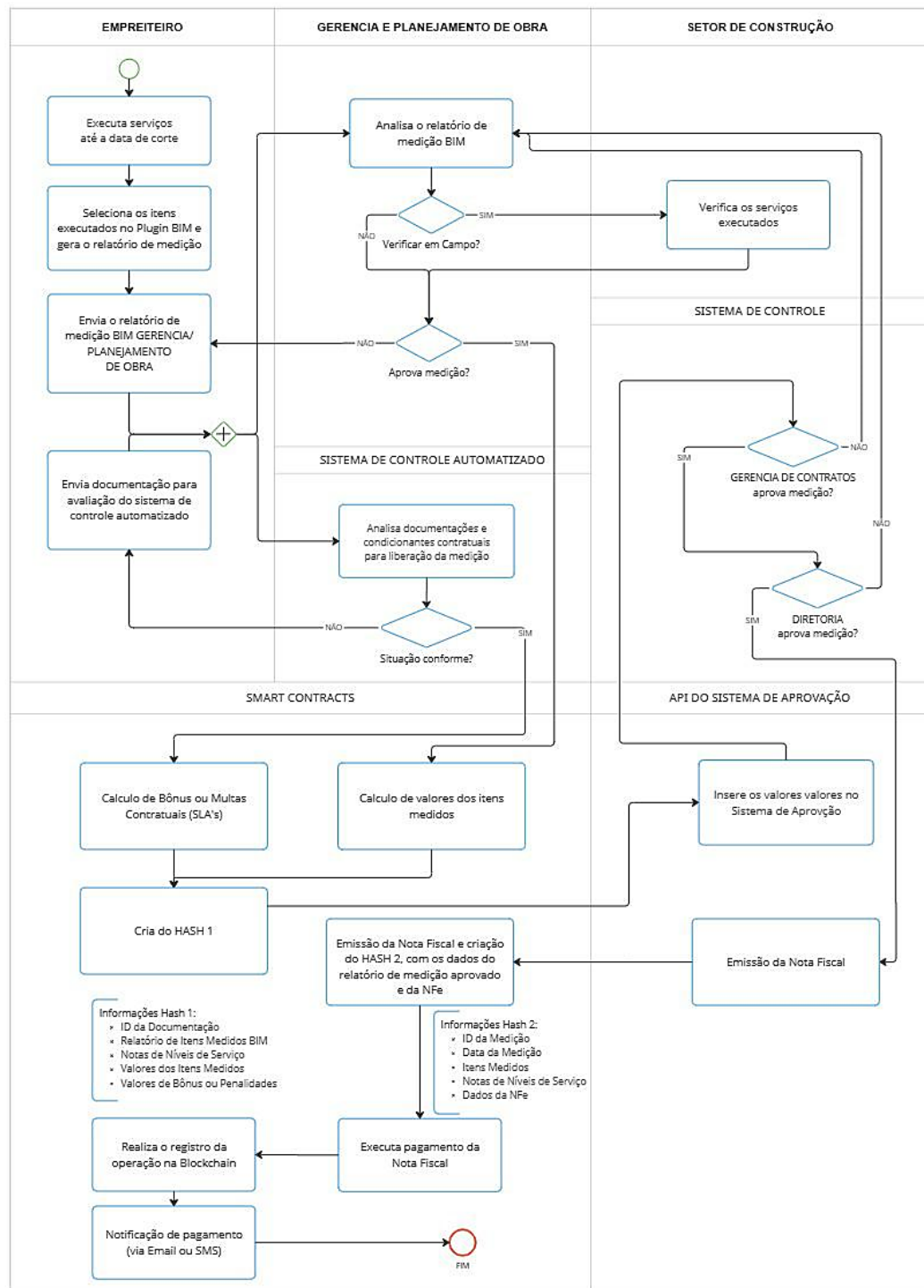
A implementação do *Smart Contract* também traz soluções para questões como atrasos de pagamentos e problemas com o saldo de contratos e aditivos (Oportunidades de Melhorias 4 e 7). Com os contratos inteligentes, os saldos podem ser reservados previamente, bloqueando seu uso para pagamentos de serviços não programados. Além disso, eles contribuem para a regularidade dos pagamentos, combatendo os atrasos. A seguir, será descrito o Fluxograma “TO-BE” BPM (*Business Process Management*), que detalha como essas tecnologias e soluções serão implementadas no processo.

4.2.2 Concepção do fluxograma “TO-BE”

O processo se inicia quando o empreiteiro executando os serviços até a data de corte, estabelecida em contrato. Após isso, o empreiteiro seleciona os itens realizados no *Plugin* BIM e gerando um relatório de medição, o qual é enviado para a Gerência ou Planejamento de Obra. A Gerência ou Planejamento de Obra analisa o relatório de medição BIM e caso necessário, é realizada uma verificação em campo para confirmar os serviços executados. Caso a verificação seja satisfatória, a medição é aprovada; caso contrário, o processo retorna ao empreiteiro para ajustes. Paralelamente, as documentações referentes à medição são enviadas para o Sistema de Controle Automatizado. A documentação é analisada automaticamente pelo software, afim de verificar o cumprimento das condicionantes contratuais necessárias para a liberação da medição. Se as documentações estiverem em conformidade, o processo prossegue; caso contrário, são devolvidas para correção.

Após a aprovação pela Gerência ou Planejamento de Obra, o processo segue para a etapa de *Smart Contracts*, onde são realizados o cálculo dos valores dos itens medidos e, em paralelo, são calculados eventuais bônus ou multas contratuais com base nos SLA's, gerando o *hash 1*. O *hash 1* é gerado com base nas informações detalhadas, como o ID da documentação, o relatório dos itens medidos no BIM, as notas dos níveis de serviço (SLA's) associadas à medição e os valores dos itens medidos, além dos valores de bônus ou penalidades resultantes da análise contratual.

Figura 3 - Fluxograma (TO-BE) do processo de medição feito em BPMN 2.0



Fonte: Os Autores

Para integrar os cálculos realizados no *Smart Contract* com o Sistema de Aprovação, utiliza-se uma API. O *Smart Contract* emite um evento com os resultados dos cálculos, como o valor medido e eventuais multas ou bônus. Esse evento é capturado por um servidor intermediário, que monitora a *blockchain* utilizando uma biblioteca como Web3.js ou Ethers.js. O servidor intermediário processa os dados e realiza uma chamada à API RESTful do Sistema de Aprovação, enviando os resultados dos cálculos. Dessa forma, os valores dos

itens medidos, os bônus e as multas são integrados ao Sistema de Aprovação, que os processa conforme a lógica interna de aprovação. A API do Sistema de Aprovação insere esses dados no Sistema de Aprovação, que segue o fluxo de aprovações internas. A Gerência de Contratos revisa e aprova a medição. Se não for aprovada, o relatório retorna para ajustes. Se a Gerência de Contratos aprovar, o processo segue para a Diretoria, que realiza uma última verificação. Se aprovada pela Diretoria, o processo avança; caso contrário, retorna para ajustes.

Após a aprovação final pela Diretoria, a Nota Fiscal é emitida e seus dados são inseridos novamente na *blockchain* por meio de um *hash* 2, é gerado com base nas informações detalhadas, como o ID da medição, data da medição, itens medidos, notas dos níveis de serviço (SLA's) e dados da Nota Fiscal Eletrônica (NFe). O *Smart Contract*, então, executa o pagamento da Nota Fiscal, realiza o registro da operação na *blockchain* e envia uma notificação de pagamento, via e-mail ou SMS, para as partes envolvidas, finalizando o processo.

5 Considerações Finais

Este estudo buscou responder à pergunta: "Os *Smart Contracts* associados à tecnologia BIM podem contribuir na otimização de medições contratuais de obras civis?". A análise realizada, a partir dos fluxogramas "AS-IS" e "TO-BE", confirmou que a combinação dessas tecnologias traz melhorias significativas em termos de eficiência, segurança e controle.

No estado atual (AS-IS), observou-se que o processo de medições é prejudicado por falhas, como a dependência de controles manuais, a falta de integração entre planilhas e sistemas, e a suscetibilidade a erros humanos. Esses problemas resultam em atrasos, retrabalho e dificuldades na gestão financeira da obra.

Com a implementação proposta (TO-BE), a adoção de um *plugin* BIM para automatizar as medições e a integração com APIs eliminam a necessidade de transcrições manuais e revisões frequentes. Isso melhora a precisão das medições e a fluidez do processo de aprovação. Além disso, os *Smart Contracts*, ao automatizarem a execução das condições contratuais, garantem pagamentos seguros e rastreáveis com base no progresso da obra.

A utilização dos *Smart Contracts* não só automatiza a verificação de medições, como também introduz controles rigorosos sobre o saldo contratual, eliminando a necessidade de ajustes manuais no final do processo. A implementação de SLAs (*Service Level Agreement*, ou Acordo de Nível de Serviço) nos contratos garante a avaliação automática de bônus e penalidades, incentivando o cumprimento dos prazos e a qualidade dos serviços executados.

Portanto, o estudo conclui que a integração de *Smart Contracts* e BIM é altamente eficaz para a otimização das medições parciais. A redução de erros, o aumento da eficiência no fluxo de aprovação e a maior segurança nas transações são claros benefícios dessa abordagem. Embora desafios como a resistência à automação e a necessidade de padronização contratual ainda precisem ser enfrentados, os ganhos demonstram o potencial de transformação dos processos tradicionais.

Futuras pesquisas poderão expandir essa análise, validando a interação entre *plugins*, APIs, sistemas de controle e *Smart Contracts*. Além disso, desenvolver Indicadores-Chave de

Desempenho (KPIs) para mensurar os reais benefícios dessas automatizações no processo de medição parcial, permitindo uma avaliação quantitativa dos ganhos em eficiência e precisão.

Referências

- ABDULLA, Juhar *et al.* **An architecture and performance evaluation of *blockchain*-based peer-to-peer energy trading.** *IEEE Transactions on Smart Grid*, v. 12, n. 4, p. 3364-3377, jul. 2021.
- BHADRA, Oindrila; SAHOO, Swagatika; HALDER, Raju; KUMAR, Chandra Mohan. **AgroBLF: *blockchain*-based framework for smart agriculture.** *Innovations in Systems and Software Engineering*, 2022.
- CONDON, F.; Franco, P.; Martinez, J. M.; Eltamaly, A. M.; Kim, Y.-C.; Ahmed, M. A. **EnergyAuction: IoT-Blockchain Architecture for Local Peer-to-Peer Energy Trading in a Microgrid.** *Sustainability*, 2023.
- CROSBY, M.; PATTANAYAK, P.; VERMA, S.; KALYANAMARAN, V. **Blockchain technology: Beyond bitcoin.** *Applied Innovation Review*, n. 2, p. 6–19, 2016.
- DUMAS, Marlon; LA ROSA, Marcello; MENDLING, Jan; REIJERS, Hajo A. **Fundamentals of Business Process Management.** Berlin: Springer, 2013.
- FONSECA, M. Santos. **Curso sobre regras de medição na construção.** 6. ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2014.
- GHAZI, Alaam; ALISAWI, Muthana; MOHAMMED WAHAB, Yousif; AL-DAWOODI, Aras; SABER ABDULLAH, Sirwan; HAMMOOD, Layth; YASEEN NAWAF, Asmaa. **A Systematic Literature Review of Blockchain Technology.** *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, [S. l.], v. 16, n. 10, p. pp. 97–108, 2022.
- HAMLEDARI, H.; FISCHER, M. **Construction payment automation using *blockchain*-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies.** *Automation in Construction*, v. 132, p. 103926, 2021.
- KHAN, Prince Waqas; BYUN, Yung-Cheol. **Blockchain-based peer-to-peer energy trading and charging payment system for electric vehicles.** *Sustainability*, v. 13, n. 7962, 2021.
- KORNIEKO, D. V.; MISHINA, S. V.; SHCHERBATYKH, S. V. **Principles of securing RESTful API web services developed with python frameworks.** *Nome do Periódico*, v. X, n. Y, p. Z, 2022. DOI: 10.1088/1742-6596/2091/1/012065.
- LUCENA, A. U.; HENRIQUES, M.A. Amaral. **Estudo de arquiteturas dos *blockchains* de Bitcoin e Ethereum.** In: IX Encontro de alunos e docentes do DCA/FEEC/UNICAMP (EADCA) Campinas: 2016.
- LI, Jennifer; KASSEM, Mohamad. **Applications of distributed ledger technology (DLT) and Blockchain-enabled smart contracts in construction.** *Automation in Construction*, v. 132, 2021.
- YANG, Rebecca *et al.* **Public and private *blockchain* in construction business process and information integration.** *Automation in Construction*, v. 118, p. 103276, 2020.

PETRONI, M. **Blockchain in Manufacturing: A Game Changer for Industrial Processes.** *Journal of Innovation in Manufacturing*, 45(3), 223-239, 2022.

RAJ, V. **Procurement, traceability and advance cash credit payment transactions in supply chain using blockchain smart contracts.** *Journal of Construction Management*, 26, 2022.

ROCHA, Kelven Klein; FERRARI, Jordano; LANGE, Rodrigo. **Diferenças entre Bitcoin, Ethereum e Iota: Um estudo de caso.** In: 8ª MOEPEX. 2019.

SACOMANO, J. B.; SÁTYRO, W. A. **Indústria 4.0: Tecnologias emergentes e o futuro da produção industrial.** São Paulo: Blucher, 2018.

SELA, Lina; SALOMONS, Elad; HOUSH, Mashor. **Plugin prototyping for the EPANET software.** *Environmental modelling & software*, v. 119, p. 49-56, 2019.

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. 7653, 2021.

SONG, Ying; SUN, Chaohao; PENG, Yun; ZENG, Yue; SUN, Baolin. **Research on Multidimensional Trust Evaluation Mechanism of FinTech Based on Blockchain.** *IEEE Access*, v. 10, p. 57025-57036, 2022.

SONMEZ, R.; AHMADISHEYKHSARMAST, S.; GÜNGÖR, A. A. **BIM integrated smart contract for construction project progress payment administration.** *Automation in Construction*, v. 139, p. 104294, 2022.

SZABO, N. **The idea of smart contracts.** Nick Szabo's Papers and Concise Tutorials, 1997. Disponível em: <https://www.fon.hum.uva.nl>. Acesso em: [06/06/2024].

TAN, W. *et al.* **A novel service level agreement model using blockchain and smart contract for cloud manufacturing in industry 4.0.** *Enterprise Information Systems*, v. 16, n. 12, 2021.

VERMA, Sanjeev; SHEEL, Ashutosh. **Blockchain for government organizations: past, present and future.** *Journal of Global Operations and Strategic Sourcing*, v. 15, n. 3, p. 406-430, 2022.