Indústria 5.0: Oportunidades e Desafios para Arquitetura e Construção

13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção

ARACAJU-SE | 08 a 10 de Novembro

[1]PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO DE PAGAMENTO DO CONCRETO DE PAREDES MOLDADAS IN LOCO INTEGRANDO BIM E BLOCKCHAIN

Proposal of Payment Automation for Cast-in-Place Concrete Walls Integrating BIM and Blockchain

Débora Lins Piccoli
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | deborapiccoli@ufba.br

Felipe Soares Trebino
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | felipetrebino@ufba.br

Natan Ramalho Lima Nascimento
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | natan.ramalho@ufba.br

Reymard Savio Sampaio de Melo
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | reymard.savio@ufba.br

Elaine Pinto Varela Alberte
Universidade Federal da Bahia | Salvador, Bahia | elaine.varela@ufba.br

RESUMO

Na construção civil, os processos de pagamento de serviços ainda dependem de métodos manuais com pouca confiabilidade e rastreabilidade das informações. Este artigo apresenta uma análise e propõe melhorias ao processo atual de pagamento de concreto de paredes moldadas in loco de uma construtora, com o apoio das tecnologias BIM e Blockchain. O estudo de caso foi o método de pesquisa utilizado. Primeiramente, desenvolveu-se um fluxograma *"AS-IS"*, para descrever o processo de pagamento atual e foram identificados os principais desafios para otimizar a gestão das informações. Em seguida, propôs-se um estado futuro do processo de pagamento, através da elaboração de um fluxograma *"TO-BE"*. O processo proposto integra a tecnologia Blockchain a um modelo BIM para gerir os dados de validação da qualidade e de pagamento do concreto. Os resultados parciais sugerem que a aplicabilidade de contratos inteligentes é promissora na otimização do fluxo de pagamento existente para digitalização de documentos e adoção de processos mais eficientes e automatizados, diminuindo prazos e possíveis falhas de comunicação.

Palavras-chave: Blockchain. BIM. Pagamento. Concreto. Construção Civil.

ABSTRACT

In construction, service payment processes still depend on manual methods with little reliability and traceability of information. This article presents an analysis and proposes improvements in the current payment process for cast-in-place concrete walls of a construction company with the support of BIM and Blockchain technologies. The case study was the research method used. First, a process AS-IS flowchart was developed to describe the current payment process and the main challenges for optimizing information management were identified. Then, a future state of the payment process was proposed by elaborating a TO-BE flowchart. The proposed method integrates Blockchain technology with a BIM model to manage quality validation and payment data for concrete. Partial results suggest that the applicability of smart contracts is promising in optimizing the current payment flow by digitizing documents and adopting more efficient and automated processes, reducing process deadlines and possible communication failures.

Keywords: Blockchain. BIM. Payment. Concrete. Construction.

1 INTRODUÇÃO

O gerenciamento de uma obra lida com um grande volume de informações. Muitas dessas são suscetíveis a uma variedade de fatores que podem representar um conflito de interesses às partes envolvidas sendo de extrema necessidade garantir a sua veracidade. Na construção civil, os processos de pagamento de serviços ainda dependem de métodos manuais com pouca confiabilidade e rastreabilidade das informações. Tais métodos consomem tempo e esforços que poderiam ser preservados, através da automatização e digitalização de processos. No caso do pagamento de concreto, a dificuldade em rastrear informações referentes a entrega, execução e possíveis falhas, ou a demora na comunicação entre construtora, concreteira e laboratório de qualidade, geram os principais conflitos entre as organizações: retrabalho e atrasos na conclusão do pagamento e no cronograma da obra.

[1]PICCOLI, D.L.; VARELA, E.P.A.; TREBINO, F.S.; NASCIMENTO, N.R.L.; MELO, R.S.S. de. Proposta de automatização de pagamento do concreto de paredes moldadas in loco integrando BIM e Blockchain. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023, Aracaju. **Anais [...].** Porto Alegre: ANTAC, 2023.

A Modelagem de Informação da Construção (BIM), segundo Succar (2009), é um conjunto de tecnologias, políticas e processos para gerenciamento de informações ao longo do ciclo de vida do edifício. O BIM tem sido amplamente adotado na construção civil e pode auxiliar na resolução dos conflitos mencionados. É possível criar um ambiente que acompanhe a evolução da obra, com informações atualizadas em tempo hábil. Por exemplo, um modelo BIM as built para gerir dados de paredes de concreto permite o controle de execução do serviço. Seria possível verificar se o serviço foi concluído e se atende os requisitos de qualidade para, então, autorizar o pagamento. Porém, ele não soluciona problemas relacionados à gestão de dados financeiros sensíveis, que normalmente não devem ser acessados por quem manipula o modelo, para isso, outra tecnologia se faz necessária.

Blockchain é uma tecnologia emergente que, nos últimos anos, ganhou força em vários setores, incluindo construção civil (Brandín e Abrishami, 2021). Representa um livro razão distribuído, possuindo diversos benefícios no que diz respeito à segurança de dados, como autonomia, transparência, imutabilidade, auditabilidade e eficiência na gestão. Pode aumentar efetivamente a confiabilidade dos dados e automação de diversos processos, como pagamentos e gerenciamento de informações.

A tecnologia *Blockchain* funciona através da criação de contratos inteligentes, acordos digitais autoexecutáveis que podem verificar e aprovar transações quando protocolos específicos são atendidos. Por exemplo, um contrato inteligente pode ser criado para automatizar o pagamento de fornecedores de materiais quando as entregas forem confirmadas. Dantas et al. (2022) indicam que a associação de *Blockchain* e contratos inteligentes com o modelo *BIM* possibilita a automatização com base no cumprimento de demandas, criando um sistema que evitará atrasos e falta de pagamento.

As vantagens quanto a aplicação da *Blockchain,* contratos inteligentes e modelo *BIM* foram verificadas por estudos anteriores. Por exemplo, Chong et al (2020) desenvolveram um novo fluxo de trabalho a partir da integração dessas tecnologias, para resolver questões de segurança de pagamentos, como disputas contratuais, insolvência e atrasos na construção. Hamledari et al. (2021) observaram, através de uma série de experimentos controlados, que o uso de contratos inteligentes melhorou a precisão e a integridade das informações em mais de 200%. Verifica-se que a Blockchain é uma tecnologia com potencial de diminuir erros e dessa forma, acredita-se que possa otimizar prazos e, consequentemente, diminuir custos.

Contudo, ainda há barreiras para sua adoção em larga escala, incluindo questões de segurança, regulamentação e interoperabilidade. Sigalov et al. (2021) indicam que a integração de contratos inteligentes na construção apresenta um desafio jurídico, devido à falta de precedentes e regulamentos legais. Hamledari et al. (2021), indicam que a autonomia de pagamentos exige um afastamento dos fluxos de trabalho manuais e altamente intermediários de hoje. Dantas et al. (2022) sugerem que apesar da integração de BIM-Blockchain apresentar potencial para a digitalização de processos, ainda há uma lacuna de estudos que avaliem a aplicabilidade de arquiteturas de sistemas na fase de construção da edificação. Neste contexto, este artigo tem como objetivo sugerir melhorias no processo atual de pagamento de concreto de paredes moldadas in loco com o apoio de BIM e Blockchain.

2 MODELAGEM DE PROCESSOS DE NEGÓCIOS COM BPMN

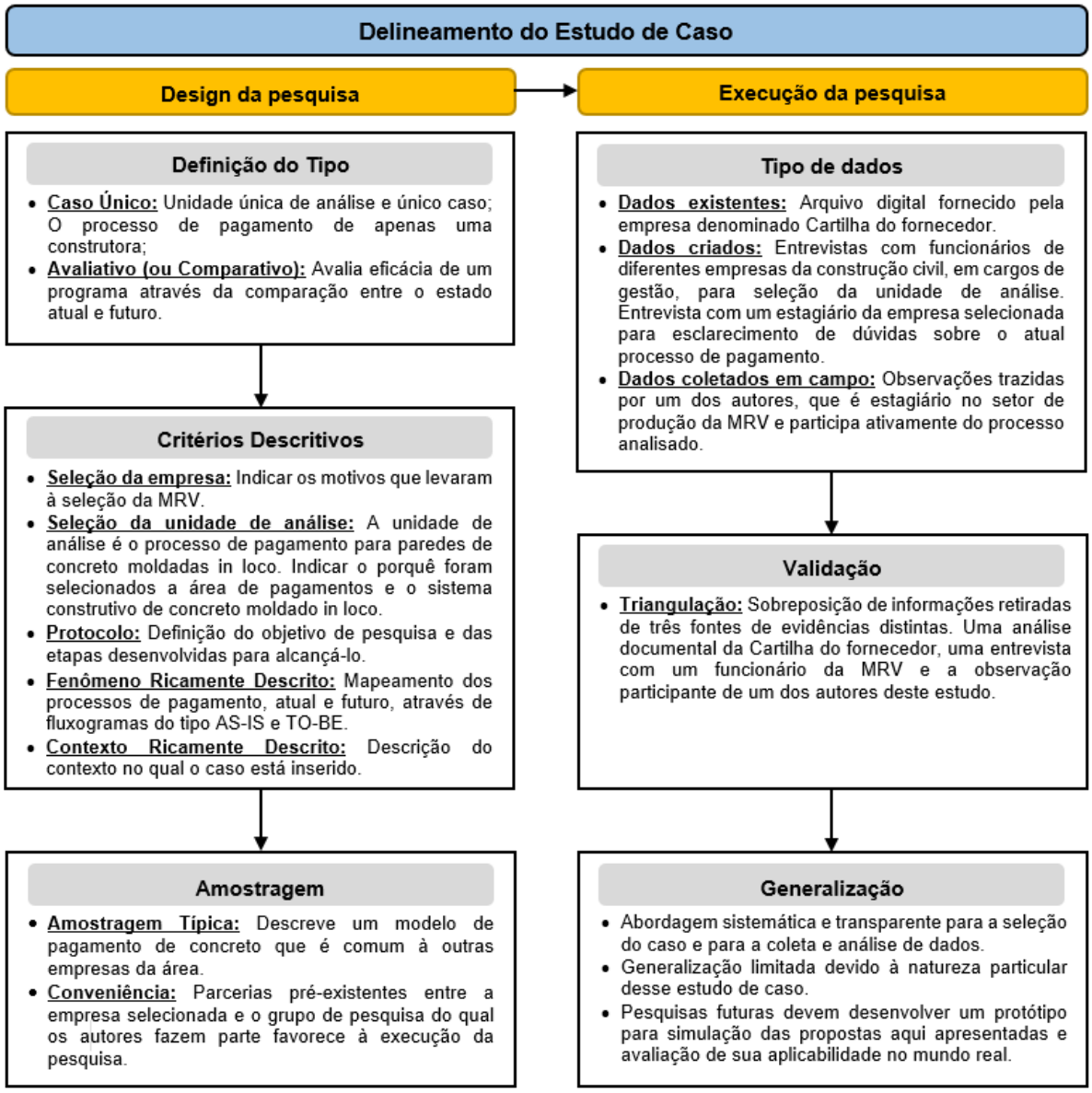
Segundo o BPM CBOK (2014), *Business Process Management* (BPM) é uma abordagem de gerenciamento de processos de negócio e *Business Process Model and Notation* (BPMN) é uma notação gráfica utilizada para modelar fluxos de processos e trabalho em organizações, através de símbolos padronizados que permitem a criação de fluxogramas claros. A revisão da literatura realizada por Kocbek et al. (2015), destaca que esta notação é percebida como o padrão no campo da modelagem de processos e seu uso continua em crescimento. Na abordagem BPM duas etapas são de extrema importância, a representação do estado atual e do estado futuro dos processos de negócio.

A modelagem do estado atual ou, em inglês, *"AS-IS"* busca compreender os processos existentes em uma organização. Isso inclui a identificação de problemas que afetam a eficiência e oportunidades de melhoria. Por sua vez, a modelagem do estado futuro ou, em inglês, *"TO-BE"* representa um ideal a ser alcançado, com propostas de melhorias e soluções para os problemas existentes. Essa etapa busca eliminar atividades desnecessárias, aumentar a produtividade e promover a inovação. Os fluxogramas *"AS-IS"* e *"TO-BE"* são ferramentas amplamente utilizados para a otimização de processos, a comparação entre os modelos revela lacunas e proporciona uma base para a implementação de mudanças.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Os estudos de caso são úteis para entender as aplicações práticas de determinada tecnologia e como ela pode ser explorada para resolver problemas do mundo real. De modo a garantir a qualidade e o rigor na condução do estudo de caso, os autores seguiram as boas práticas propostas por Araújo e Lucko (2022): definição do tipo, critérios descritivos, amostragem, tipo de dados, validação e generalização (Araújo e Lucko, 2022), conforme a Figura 1.

Figura 1: Delineamento da pesquisa



Fonte: Os autores.

A primeira etapa consistiu na definição do tipo de estudo de caso. Nesta pesquisa, o estudo de caso é único. O objeto analisado é o processo de pagamento específico de uma única empresa, o que permite uma análise qualitativa mais aprofundada. É também um estudo com propósito avaliativo, pois busca avaliar a eficácia de uma dada solução por meio da comparação entre o estado atual e a proposta de estado futuro.

Na segunda etapa apresentam-se os critérios descritivos, que justificam porque esse caso particular foi explorado e oferecem ferramentas que permitem a replicação. São eles: critérios para seleção da empresa e da unidade de análise, protocolo, fenômeno e contexto ricamente descrito. A empresa selecionada trata-se de uma construtora de grande porte com mais de 40 anos de atuação no mercado, e que já possui um histórico de parcerias com o grupo de pesquisa do qual os autores fazem parte. A área de pagamentos foi selecionada devido à demanda da indústria, verificada através de entrevistas. O sistema construtivo de

paredes de concreto moldado in loco foi escolhido devido a maior quantidade de erros relacionados ao pagamento e possui a maior quantidade de recursos financeiros envolvidos. Para condução do caso, três etapas foram necessárias: mapear o estado atual do processo de pagamento (*AS-IS*), identificar os principais desafios e propor um estado futuro (*TO-BE*).

A terceira etapa indica qual o tipo de amostragem realizada para o estudo do fenômeno de interesse. Aqui a amostra coletada é típica, pois descreve um modelo de pagamento que é comum no setor da construção. E de conveniência, devido à proximidade e à existência de parcerias entre a empresa e o grupo de pesquisa, o que favorece a coleta de dados e execução do estudo.

A quarta etapa especifica quais os tipos de dados. Eles podem ser existentes, criados ou coletados no campo. Um dado existente é um arquivo digital fornecido pela empresa, denominado Cartilha do fornecedor. O documento explica qual o fluxo para emissão de notas fiscais e como acompanhá-lo. Os dados criados são os provenientes de entrevistas. Foram realizadas 5 entrevistas com funcionários em cargos de gestão de diferentes empresas de construção civil. Nelas foram coletados dados sobre qual área tem maior necessidade de automação, eficiência e segurança. O resultado foi a escolha de pagamentos como unidade de análise. Ainda, foi realizada uma entrevista com um estagiário da empresa selecionada, na qual esclareceram-se dúvidas sobre o pagamento. Os dados coletados em campo são informações provenientes da observação participante de um dos autores, que atualmente realiza estágio na empresa em estudo e participa diretamente do processo analisado.

A etapa de validação ocorreu ao longo de todo o estudo. Segundo Araújo e Lucko (2022), ela consiste em aplicar técnicas que garantem que os resultados sejam significativos para a pesquisa (validade interna) e que possam ser aplicados em outros contextos (validade externa). Esse estudo utiliza a técnica da triangulação, através da sobreposição de informações retiradas de três fontes de evidências distintas, uma análise documental, entrevistas com funcionários e a observação participante de um dos autores.

A última etapa é a de generalização, que consiste na capacidade de replicação da pesquisa em outros contextos. Esse estudo adotou uma abordagem sistemática e transparente para a seleção do caso, bem como para a coleta e análise de dados. Devido à natureza particular de um caso único e específico para pagamento de concreto de uma empresa brasileira, a generalização é limitada. Esse artigo apresenta resultados parciais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESTADO ATUAL DO PROCESSO DE ENTREGA E PAGAMENTO DE CONCRETO

O atual processo de entrega e pagamento do concreto se inicia no setor de suprimentos, onde existe a negociação e o cadastramento dos itens a serem utilizados pela obra. Após a validação de contrato, materiais e serviços a serem prestados pela concreteira, ela é liberada para atuar junto à construtora.

Após a liberação, a obra requisita o concreto e recebe de forma física as notas, que contém informações de preço, traço, local, horário de saída da usina e horário de entrega. Nesta nota, tanto o fornecedor quanto o contratante devem guardar a conferência e cobrança no final da janela de medição.

No momento da entrega do concreto, o laboratório de qualidade verifica as informações do concreto entregue para liberação do uso. Em caso positivo, é liberado para uso na obra, caso contrário, o concreto é recusado e deve voltar para a central.

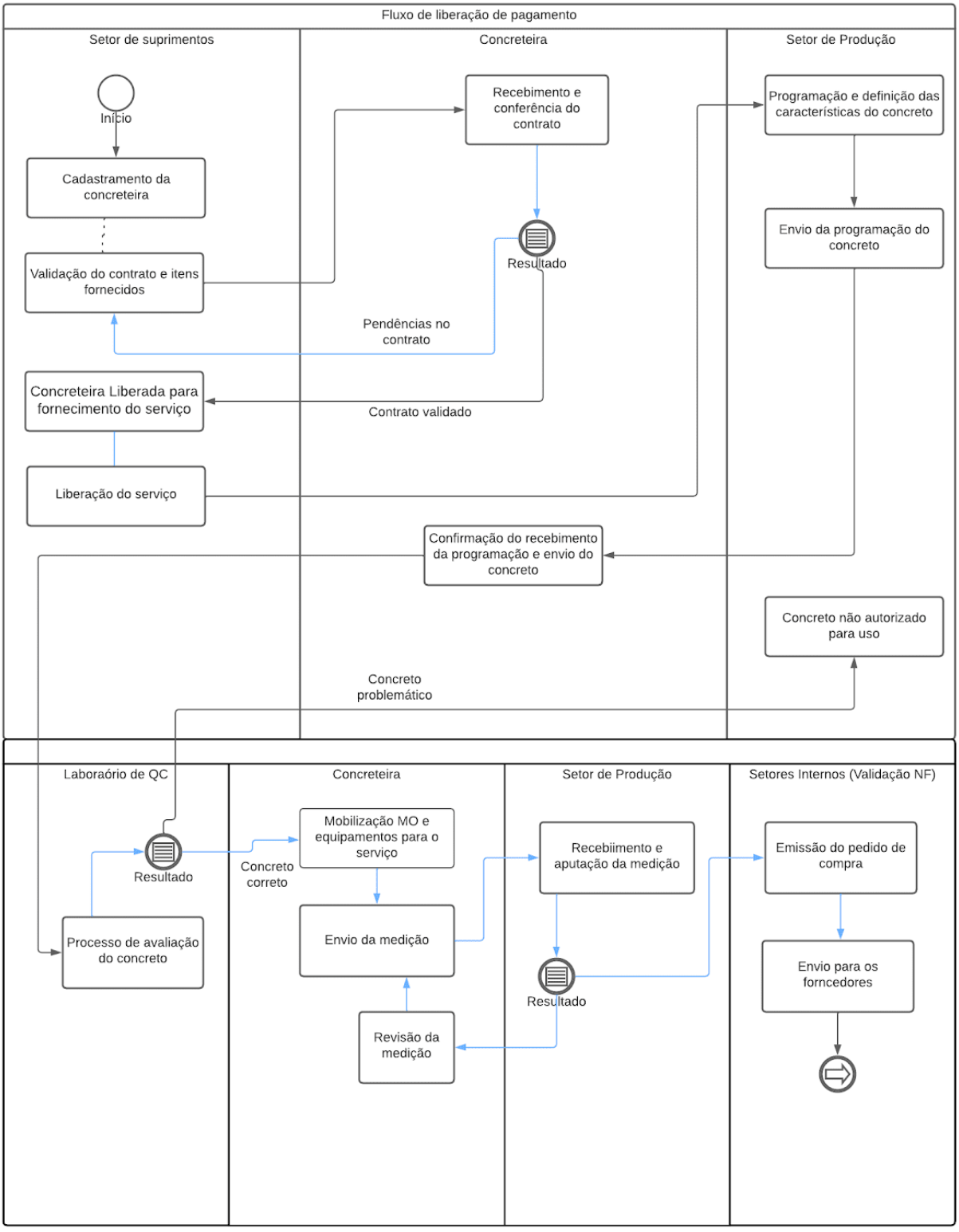
Presentemente, o processo de pagamento do concreto começa pela data da janela de medição, que se inicia dia 21 e finaliza dia 20 do mês seguinte. A verificação da medição se dá pela análise de todas as notas fiscais entregues nesta janela de tempo. Finalizado a janela de medição, o fornecedor deve enviar para a obra, de forma física e via email, a medição do concreto, com informações detalhadas sobre quais foram as notas, quais metragens e quais traços foram utilizados nesta janela de medição.

Após a obra conferir se está condizente com o serviço prestado, é gerado uma ordem de compra, o que deve ser feito até o último dia útil deste mesmo mês. Após a criação do pedido, que será associado a medição

enviada pelo fornecedor, a obra envia para o setor de notas fiscais protocolado para liberação de pagamento, devendo ser enviado até o quinto dia útil do mês subsequente.

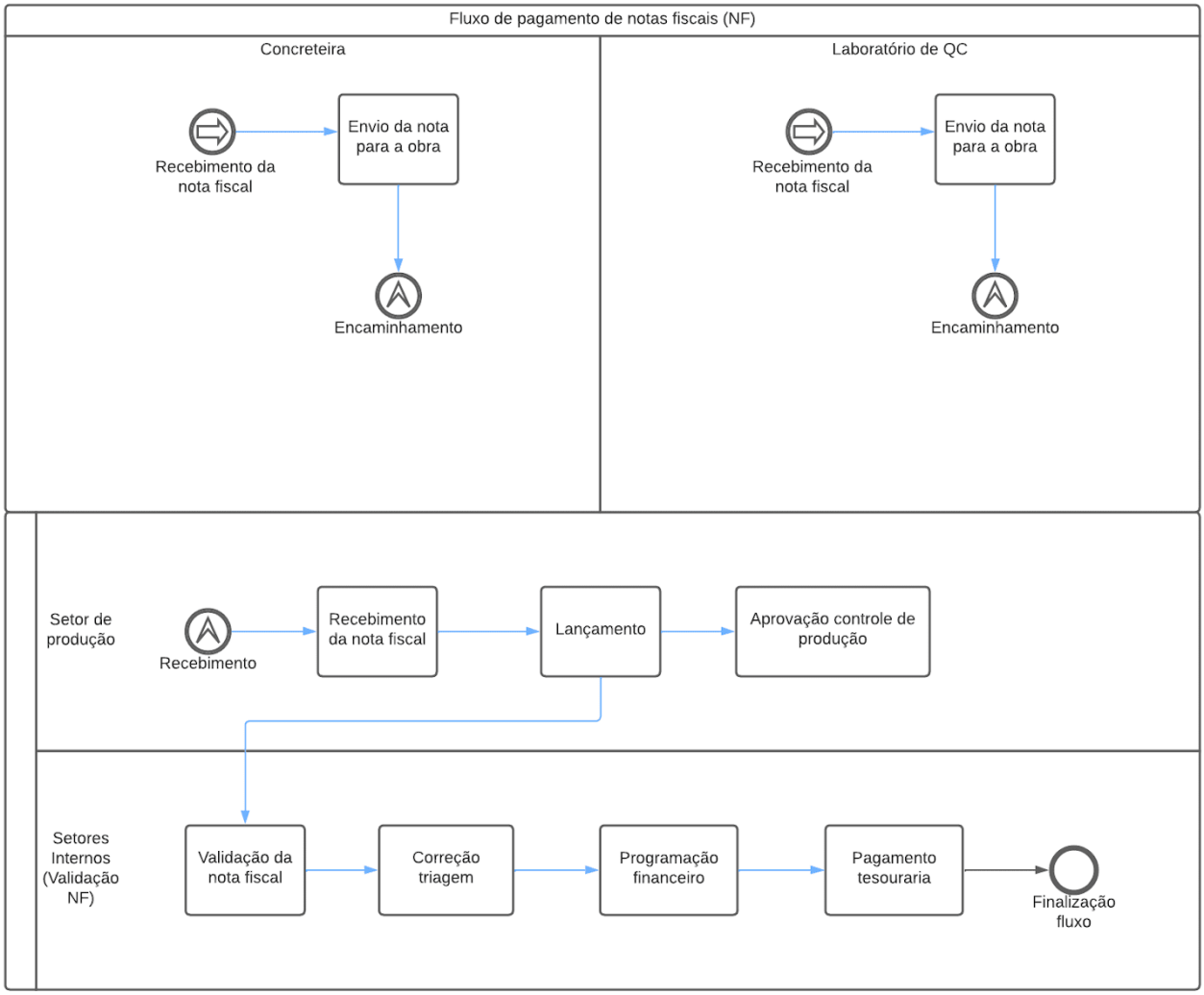
Com o processo no setor de notas fiscais e a validação para pagamento da nota, gera-se a confirmação no sistema para pagamento, indicando a data limite.

Figura 2: Fluxograma (AS-IS) do estado atual do processo de pagamento de concreto



Fonte: Os autores.

Figura 3: Fluxograma (AS-IS) do estado atual do processo de pagamento de notas fiscais



Fonte: Os autores.

4.2 PRINCIPAIS DESAFIOS DO ESTADO ATUAL

O processo de pagamento de concreto de paredes moldadas in loco é fundamental para a conclusão bem-sucedida de uma obra que adota este sistema construtivo. Contudo, esse processo apresenta diversos desafios que podem prejudicar a eficiência e os prazos. A seguir, apresentam-se os atuais desafios mais relevantes:

Desafio 1: Uso do e-mail como único mecanismo de consenso. O e-mail como único meio de comunicação para o aceite da medição ou para indicar correções pode gerar falhas na comunicação e atrasos na conclusão dos processos de pagamento.

Desafio 2: Grande quantidade de documentos gerados durante o processo. O controle do concreto lançado, a partir das notas recebidas fisicamente, gera uma grande quantidade de documentos físicos na obra. A gestão das notas fiscais é parte crítica do processo de pagamento, gerando atrasos e erros. É importante investir em tecnologias de digitalização de documentos, automatizando o recebimento e a gestão de notas.

Desafio 3: Demora na aprovação do concreto que chega à obra. A aprovação do concreto é importante para garantir que ele atenda às especificações técnicas do projeto. Sua demora é um problema que afeta a eficiência e o cronograma da obra.

Desafio 4: Retrabalho na comprovação do lançamento de pagamento. O processo de confirmação do pagamento pode exigir que a obra protocolize duas vezes o lançamento, o que gera retrabalho e atrasos no processo.

4.3 ESTADO FUTURO DO PROCESSO DE PAGAMENTO DE CONCRETO

Antes de iniciar a análise dos fluxogramas, deve-se salientar que as alterações propostas se baseiam principalmente na integração de duas tecnologias, a rede *Blockchain* e o modelo *BIM*. Além de propor uma substituição integral do método de consenso anterior e incluir sistemas proprietários como canal de comunicação entre as organizações.

As organizações mencionadas no fluxograma AS-IS mantêm-se as mesmas para o TO-BE. Existe um fornecedor: a concreteira, um prestador de serviços: o laboratório de controle de qualidade, e quatro setores internos da construtora: suprimentos, produção, setor de validação de notas fiscais e o Departamento de Assistência ao Empregado (DAE).

É possível notar semelhanças nos processos dos fluxogramas *AS-IS* e *TO-BE*, isso se deve a natureza do processo estudado, pois, como descrito anteriormente, o processo de pagamento envolve diversos atores além de produzir vários documentos essenciais para a efetivação do pagamento seguindo um fluxo de operações que, em sua maioria, não podem ser excluídos. O que resta é melhorar a eficiência dos processos, assim como trabalhar para que eles sejam realizados nas melhores condições possíveis.

O fluxograma TO-BE foi dividido em duas imagens, a figura 4 representa o fluxo de liberação de pagamento e a figura 5, o fluxo de pagamento das notas fiscais. Nestes fluxogramas foram indicados o canal e o método de consenso no qual os processos são efetuados, quase sempre ocorrendo através de um contrato inteligente da Blockchain e por um sistema proprietário, um sistema fechado mantido e atualizado exclusivamente pela construtora, preferencialmente um sistema web. Além disso, foram adicionadas representações dos processos que geram um ou mais documentos, cada um com uma identificação única, por fim, foi adicionado a representação de atualizações efetuadas no modelo *BIM as built.*

Os processos do fluxograma da figura 5 possuem uma generalização, ou seja, um mesmo processo que ocorre para as três organizações, iniciando pelo recebimento da nota fiscal seguido do envio para obra, gerando uma nota fiscal, que será armazenada, conforme descrito no fluxo *AS-IS*.

Um dos grandes desafios identificados foi o método de consenso que além de registrar as operações e documentos enviados é o canal de comunicação entre as organizações e setores internos da construtora. A principal proposta é substituir por completo o uso de email, utilizando como método de consenso registros na *Blockchain* feitos a partir de contratos inteligentes, estes registros são imutáveis e auditáveis, podendo ser observados nos fluxogramas a partir das setas em azul.

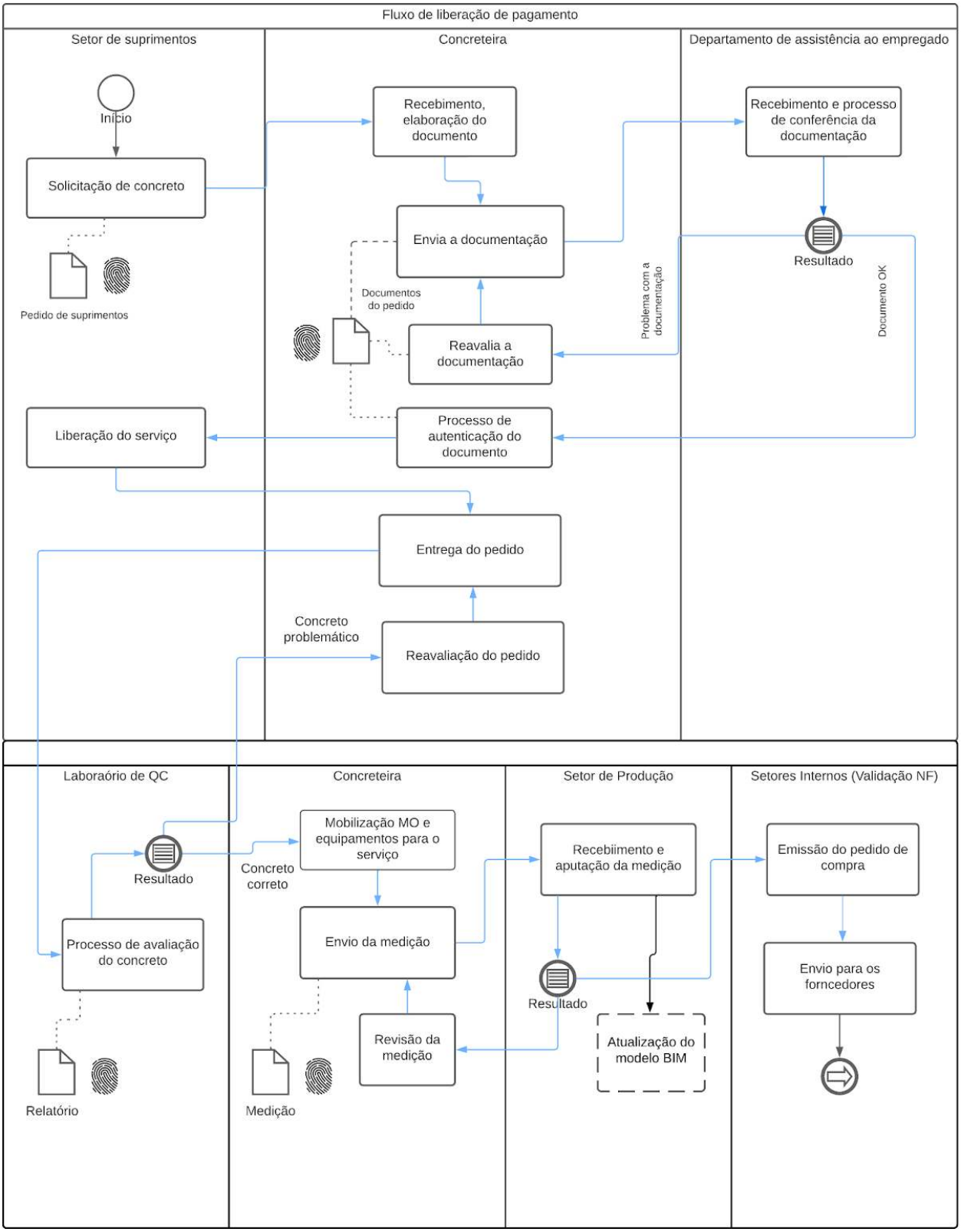
As etapas descritas nos fluxogramas foram pensadas para serem executadas utilizando a rede *Blockchain* privada *Hyperledger Fabric* (HLF), que traz certas particularidades que contribuem diretamente para o funcionamento do processo de pagamento. Algumas dessas particularidades incluem governança distribuída, consenso por contrato inteligente, ou *chaincode* no HLF, além de ser escalável com a possibilidade de incluir ou excluir organizações (Zhao et al., 2023) e (Hijazi et al., 2022). A plataforma *GoFabric*, da empresa *GoLedger*, será utilizada para o orquestramento da rede.

A governança distribuída refere-se ao processo de tomada de decisão descentralizada que ocorre entre os participantes da rede. Isso é diferente de uma rede Blockchain tradicional, que possui governança centralizada. Na governança distribuída, as organizações têm voz na tomada de decisões importantes que resultam em um registro na Blockchain e uma nova etapa do fluxo de pagamento descrito.

Os conceitos de atores foram expandidos para organizações no *HLF*, podendo possuir papéis que são componentes fundamentais da execução dos *chaincodes*. Identificados como *peers* (nós), as organizações podem agir diretamente no contrato, validando-o e executando-o, ou como *orderers*, responsáveis por verificar se a transação está sendo realizada corretamente, sendo as últimas autoridades antes da criação dos blocos resultados da execução do *chaincode*.

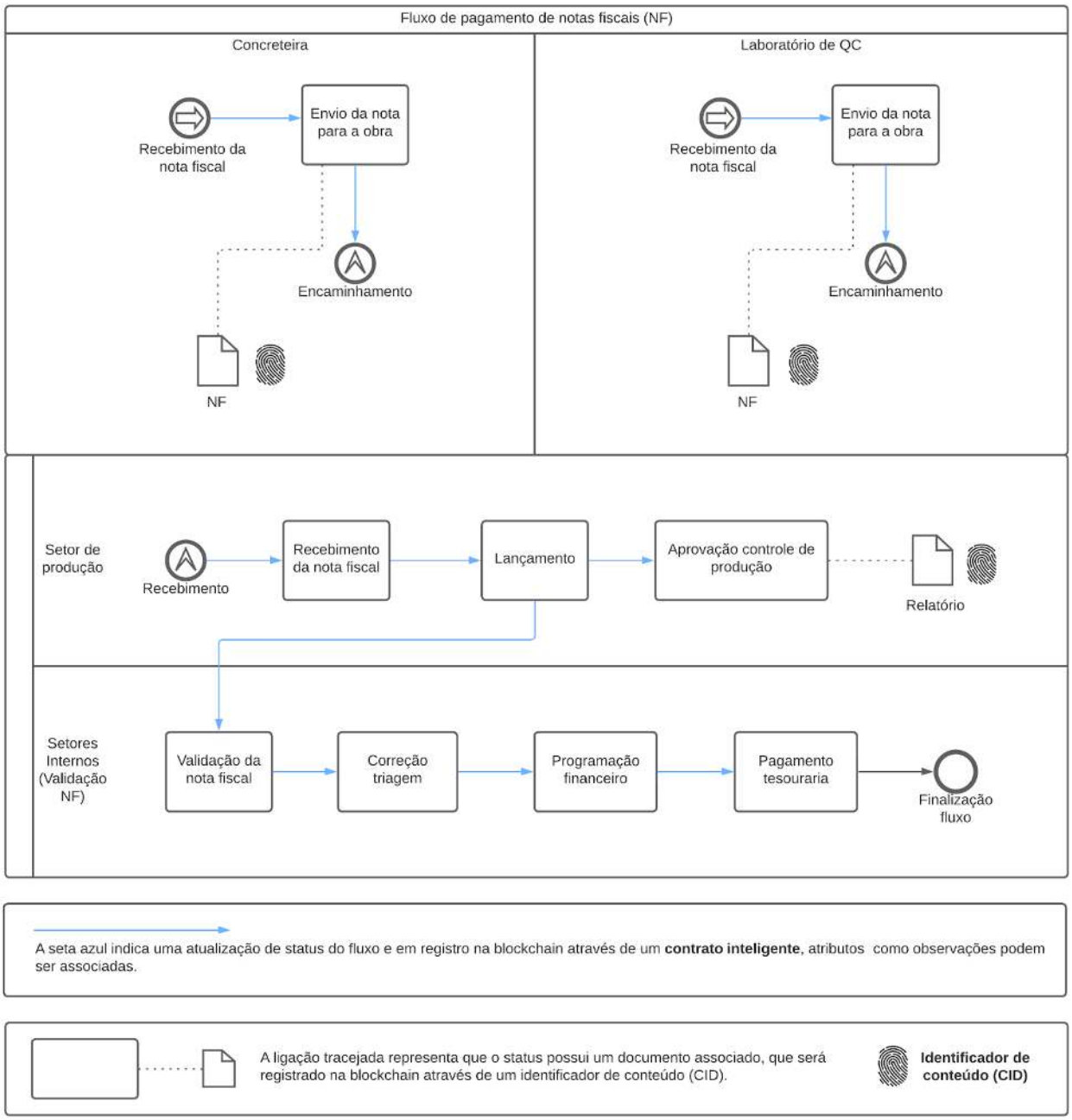
Os setores internos da construtora irão desempenhar um papel de liderança na governança de rede, e terão a atribuição dos papéis de endossamento, ordenação e validação, além de serem responsáveis pela configuração da rede, gestão de participantes e atualização do *chaincode*. Já as organizações externas participarão do papel de endossamento e validação na arquitetura da rede HLF.

Figura 4: Fluxograma (TO-BE) do futuro fluxo de liberação de pagamento feito em BPMN 2.0



Fonte: Os autores.

Figura 5: Fluxograma (TO-BE) do futuro fluxo de pagamentos de notas fiscais feito em BPMN 2.0



Fonte: Os autores

O processo de decisão representa uma mudança ou atualização na *Blockchain* que é enviada para todos os participantes de cada etapa do processo. Somente com o consenso de todos, de acordo com o *chaincode* proposto, ou seja, um endossamento parcial de todas as organizações participantes da rede, o fluxo será prosseguido e as ações tomadas. Esse processo pode adotar regras específicas, como no caso da presença de dados sensíveis, em respeito à Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) (CIOTTA *et al*., 2023).

Pode-se observar nas figuras 4 e 5, que cada processo, representado pelas seta em azul, envolvem duas organizações, com no mínimo, um setor interno, como explicado anteriormente, cada um desses processos representam uma execução de chaincode, e no caso, terão ambas organizações envolvidas atuando com o papel de endossamento e validação.

A utilização de uma plataforma não proprietária limita o processo às ferramentas disponíveis na mesma. Para a implementação da rede *Blockchain*, será necessário o uso de uma *interface* para realizar todos os processos descritos no fluxograma, esta, será associada há um sistema no qual o *backend,* que fará todas as conexões necessárias para a implementação das novas funcionalidades descritas. A *interface* pode ser

implementada de várias formas, seja por em um *software* já existente da construtora ou num sistema web, podendo ter diversos canais para cada organização envolvida.

O uso de um sistema proprietário possibilita a definição de um fluxo de operações que exige a confirmação de envio e recebimento a cada etapa do processo. Em outras palavras, todas as atualizações são confirmadas pelas organizações envolvidas, proporcionando um grau de segurança e controle das operações muito superior ao oferecido pelo uso de e-mail. Este mecanismo também elimina totalmente a possibilidade de um processo importante ser fraudado ou omitido. Ademais, o uso de um sistema proprietário permite a visualização e rastreabilidade do processo de forma transparente, tornando possível verificar o histórico de processos e documentos, conforme previsto pelo uso da *Blockchain*. A implementação de diversas Interfaces Gráficas de Usuário (do inglês GUI) no sistema está prevista conforme a demanda.

A adoção dessas ferramentas reduz a responsabilidade dos usuários do sistema, assim extinguindo a ocorrência de possíveis falhas de protocolo, aumentando a eficiência dos processos e reduzindo o tempo das operações, que, por consequência, reduz os custos gerados.

Um problema a ser resolvido pelo uso das tecnologias propostas é o gerenciamento e autenticação dos documentos. Como visto nos fluxogramas AS-IS, diversos documentos são gerados ao longo do processo de pagamento, sem necessariamente serem armazenados num local comum, além da necessidade do uso de plataformas externas para sua autenticação, prolongando os processos e gerando novos arquivos desnecessários.

Com o uso do sistema proprietário integrado ao sistemas já existentes da construtora, e por consequência, a *Blockchain*, os documentos poderão ser armazenados num servidor de arquivos, sendo gerenciados pela *Blockchain* com a criação de um identificador único, representado no fluxograma como identificador de conteúdo (CID), que na prática é um *hashcode*, um código único gerado por criptografia para identificação. A *Blockchain* pode, através da execução de *chaincodes*, enviar, compartilhar e atualizar estes documentos. Todos os registros relacionados aos documentos são disponibilizados pela *Blockchain* e podem ser acessados pelas organizações envolvidas, podendo ver o histórico de todas as operações realizadas.

A autenticação dos documentos, pode ser feita através da associação à servidores de autenticação, permitindo que os usuários das organizações façam este processo diretamente do sistema. No fluxograma à associação de documentos é feita a partir de linhas tracejadas, ligadas a um ícone de documento, já a autenticação pode ser feita, para cada documento, caso necessário.

Outra proposta de mudança no fluxograma *AS-IS* é a integração do modelo *BIM as build* com a *Blockchain*. A partir de alterações mensais, feitas de acordo com o recebimento e apuração das medidas feitas em obra relacionados ao desempenho da ação executada, ou seja, o progresso da concretagem das paredes, ou variação do volume de concreto utilizado. Sendo estas executadas de forma manual a partir de visitas de campo pelo responsável do setor, seguindo as atualizações necessárias para o desenvolvimento do modelo *BIM as built*. Essas informações são de extrema importância para para o contexto do processo de pagamento das paredes de concreto, pois podem ser utilizadas para verificar a coleta de dados das medições executadas pela própria concreteira, como descreve o processo *TO-BE*.

Os dados coletados do modelo *BIM as built* podem inclusive ser utilizados inclusive em *chaincodes* da *Blockchain* numa possível validação *automática* dos dados coletados pela fornecedora. Através do uso de ferramentas como o *plugin Dynamo* do *software Revit* associado ao envio de requisições através da linguagem de programação *Python* via RESTful API (Interface de Programação de Aplicação Representacional por Transferência de Estado) para o sistema que gerencia e faz um canal entre as organizações, Blockchain e modelo BIM.

5 CONCLUSÃO

O estudo apresentou uma proposta de um sistema proprietário que integra uma blockchain privada utilizando a HyperLedger Fabric orquestrada pela plataforma GoFabric e o modelo BIM. Através desta proposta, o uso do email como método de consenso e canal de comunicação entre as organizações será totalmente substituído pelo uso de *chaincodes* e o próprio sistema proprietário com a criação de GUI's. Os documentos serão totalmente digitalizados e armazenados em servidores de arquivos associados a chaves únicas na blockchain. O fluxo de trabalho do processo todo desde a solicitação de materiais até o pagamento das prestadoras de serviços vai ser endossado pela blockchain tornando o processo mais eficiente,

automatizado, seguro e transparente. A integração do BIM tornará o processo de apuração das medições mais eficiente, além da possibilidade de automatização através do uso do plugin Dynamo e RESTful API's.

Levando em conta os desafios identificados, três deles seriam solucionados a partir do uso da *Blockchain* e de *sistemas proprietários*. Uma proposta de melhoria para problema do retrabalho na comprovação do concreto, indicado pelo desafio 4 foi a utilização de um modelo *BIM as built* no processo. Através de atualizações mensais feitas manualmente no modelo, seria possível visualizar a execução do volume de concreto com maior facilidade, economizando tempo do setor de produção. Ainda, foi proposto uma integração destes dados com o *sistema proprietári*o e a *Blockchain*, introduzindo novas variáveis que podem automatizar ainda mais o processo de pagamento de concreto *in loco*.

Este artigo confirma conhecimentos anteriores com nova contextualização. Hijazi et al. (2022) descreveram a integração de BIM e blockchain na construção civil através do desenvolvimento de um modelo chamado BIM *single source of truth* (BIMSSoT), aplicado à cadeia de suprimentos. Eles propuseram uma rede *blockchain* privada HFL usada para assegurar a rastreabilidade, transparência e imutabilidade dos dados do modelo BIM e que se comunica com ele através do *plugin Dynamo* associado a uma RESTful API. Em contraste, neste estudo, apesar da rede proposta ter características parecidas, como o uso de rede privada HLF e API's para comunicação, ela tem como objetivo validar e assegurar a rastreabilidade, transparência e imutabilidade dos dados envolvidos no processo de pagamento, o BIM é usado apenas para abordar um dos problemas detectados no processo.

Embora este estudo tenha contribuído com uma proposta de automatização do fluxo de pagamento, a maior limitação é testar sua aplicação na prática. Pesquisas futuras podem definir requisitos mínimos necessários ao modelo *BIM,* avaliar a eficácia do Dynamo associado à uma RESTful API, para coletar dados no modelo, identificar quais dados específicos devem ser coletados, detalhar a arquitetura necessária para o desenvolvimento do sistema proprietário, modelar a blockchain e avaliar a aplicabilidade da proposta verificando quais etapas do processo de pagamento podem realmente ser automatizadas, através da mensuração dos efeitos nos prazos e custos devido à implementação das tecnologias apresentadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) da Universidade Federal da Bahia (UFBA) pela concessão de bolsas de Iniciação Científica aos dois primeiros autores. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de recursos financeiros (Projeto 402380/2021-5). À empresa GoLedger pelo apoio técnico e capacitação concedida para o desenvolvimento deste artigo.

REFERÊNCIAS

ABPMP - Association of Business Process Professionals. **Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio – Corpo Comum de Conhecimento**. BPM CBOK, vol. 3.0, 2014.

ARAÚJO, L. G.; LUCKO, G. Best Practices for Case Studies in Construction Engineering and Management Research. **Journal of Construction Engineering and Management**, vol. 148, issue 8, august 2022. ISSN: 1943-7862. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CO.1943-7862.0002312>. Acesso em: 14 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002312

BRANDÍN, R.; ABRISHAMI, S. Information traceability platforms for asset data lifecycle: blockchain-based technologies. **Smart and Sustainable Built Environment**, vol. 10, august 2021. ISSN: 2046-6099. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/SASBE-03-2021-0042/full/html>. Acesso em: 5 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2021-0042

CHONG, H.-Y.; DIAMANTOPOULOS, A. Integrating advanced technologies to uphold security of payment: Data flow diagram. **Automation in Construction**, v. 114, june 2020. ISSN 0926-5805. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580519313573?via%3Dihub> Acesso em: 5 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103158

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**, vol. 132, december 2021. ISSN: 0926-5805. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580521003769> Acesso em: 5 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103925

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. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Porto Alegre, RS, vol. 19, nov. 2022. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1973>. Acesso em: 14 mar. 2023. doi:https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.1973.

HAMLEDARI, H.; FISCHER, M. Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies. **Automation in Construction**, v. 132, december 2021. ISSN 0926-5805. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580521003770?via%3Dihub> Acesso em: 5 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103926

HIJAZI, A.A.; PERERA, S.; CALHEIROS, R.N.; ALASHWAL, A. 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**, vol. ahead-of-print, jun. 2022. ISSN: 0969-9988. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/0969-9988.htm> Acesso em: 10 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2022-0209

KOCBEK, M.; JOST,G.; HERICKO, M.; POLANIC, G. Business process model and notation: The Current State of Affairs. **Computer Science and Information Systems**, vol.12, issue 2, p. 509–539, june 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/277634419> Acesso em: 30 maio 2023. doi:https://doi.org/10.2298/CSIS140610006K

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. **Applied Sciences**, vol.11, no. 16, august 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/16/7653> Acesso em: 10 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/app11167653

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, vol.18, issue 3, p.357–375, may 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580508001568> Acesso em: 28 maio 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2008.10.003

ZHAO, Rui; CHEN, Zhe; XUE, Fan. A blockchain 3.0 paradigm for digital twins in construction project management. **Automation in Construction**, vol. 145, January 2023. ISSN: 0926-5805. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580522005155> Acesso em: 12 mar. 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104645