



O USO DA BLOCKCHAIN PARA FOMENTAR O FINANCIAMENTO DE PROJETOS SUSTENTÁVEIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

THE USE OF BLOCKCHAIN TO FOMENT THE FINANCING OF SUSTAINABLE PROJECTS IN CIVIL CONSTRUCTION

Luiz Mauro Duarte Brandolt, graduando em Engenharia Civil, Instituto Federal do Amazonas.

Maurobrandolt1995@gmail.com

Resumo

O artigo propõe a exploração de um sistema de financiamento coletivo para fomentar projetos sustentáveis na construção civil baseado em *blockchain*. A tecnologia *blockchain* pode oferecer uma solução mais justa e confiável para financiamento coletivo, permitindo uma maior inclusão financeira e transparência na gestão de fundos. A plataforma proposta utiliza contratos inteligentes e tokens para criar um sistema de financiamento coletivo seguro, transparente e eficiente. O objetivo é aumentar o acesso ao financiamento para projetos sustentáveis e impulsionar o avanço da construção civil sustentável.

Palavras-chave: Financiamento coletivo; Sustentabilidade; Construção civil; *Blockchain*; Contratos inteligentes.

Abstract

This article proposes the exploration of a crowdfunding system for sustainable construction to foment projects based on blockchain technology. The blockchain offers a more fair and reliable solution for crowdfunding, allowing for greater financial inclusion and transparency in fund management. The proposed platform utilizes smart contracts and tokens to create a secure, transparent, and efficient crowdfunding system. The goal is to increase access to financing for sustainable projects and advance sustainable construction.

Keywords: *Crowdfunding; Sustainability; Construction industry; Blockchain; Smart contracts.*

1. Introdução

A construção civil é um setor fundamental para a economia global, contribuindo com cerca de 13% do PIB mundial (GLOBAL CONSTRUCTION PERSPECTIVES, 2020). No entanto, também é responsável por um impacto ambiental significativo, sendo responsável por aproximadamente 40% das emissões globais de CO₂ e 50% do consumo de recursos naturais (WORLD GREEN BUILDING COUNCIL, 2019). Com o aumento da conscientização sobre a importância da sustentabilidade e o crescente interesse em práticas de construção ecológicas, o setor enfrenta desafios para se adaptar a essa nova realidade.

A necessidade de mudanças radicais no setor, incluindo práticas de construção mais sustentáveis, materiais mais *eco-friendly* e fontes de energia renovável, é evidente. No entanto, essas mudanças exigem um investimento financeiro significativo que muitas vezes é difícil de ser obtido pelos métodos tradicionais de financiamento. Uma alternativa promissora é o *crowdfunding*, que permite que várias pessoas financiem um projeto em conjunto, geralmente por meio de uma plataforma online. No entanto, essa opção ainda tem limitações, incluindo a falta de transparência e confiança em relação ao gerenciamento dos fundos e à distribuição dos lucros.

A tecnologia *blockchain* surge como uma solução promissora para esses desafios. Com sua natureza descentralizada, transparência e segurança, o *blockchain* pode oferecer um sistema de financiamento coletivo mais justo e confiável para projetos sustentáveis na construção civil. Além disso, ele pode permitir uma maior inclusão financeira, permitindo que pessoas em todo o mundo possam contribuir para esses projetos. A plataforma a ser explorada neste artigo utiliza contratos inteligentes e tokens para criar um sistema de financiamento coletivo seguro, transparente e eficiente. O objetivo é aumentar o acesso ao financiamento para projetos sustentáveis e impulsionar o avanço da construção civil sustentável.

2. Revisão de literatura

2.1 Blockchain

Segundo Nakamoto (2008), o criador da primeira e mais conhecida *blockchain*, a do *Bitcoin*, a tecnologia é um "sistema de dinheiro eletrônico ponto a ponto" que utiliza a criptografia para proteger a integridade do registro e a privacidade dos usuários. A *blockchain* funciona como um livro-razão digital, que registra e verifica transações entre duas partes de forma descentralizada, sem a necessidade de um intermediário confiável. Cada bloco da cadeia é vinculado ao bloco anterior, criando uma cadeia de blocos interconectados que contém todas as transações realizadas na rede. Dessa forma, a *blockchain* se torna uma ferramenta poderosa para criar sistemas seguros e transparentes em diversas áreas, desde finanças até saúde e logística.

A *blockchain* é mantida por vários nós (computadores) em uma rede. Cada transação é verificada por esses nós por meio de um processo chamado "mineração", envolvendo a solução de um problema matemático complexo. A cada transação validada, um novo bloco é adicionado à cadeia (daí o nome *blockchain*), contendo um registro de todas as transações anteriores.

Esses registros são criptografados e distribuídos em toda a rede, o que significa que qualquer tentativa de adulteração seria detectada por todos os nós na rede. Conforme Yermack (2013) explica em seu artigo "Is Bitcoin a Real Currency? An Economic Appraisal", "qualquer alteração em uma transação antiga invalidaria todas as transações subsequentes, o que significa que uma pessoa mal-intencionada teria que recriar todo o histórico de transações para enganar a rede".

A mineração do *Bitcoin* utiliza um algoritmo de consenso denominado *proof of work* (prova de trabalho) para garantir a segurança da rede e prevenir gasto duplo de moedas.

Segundo Antonopoulos (2014) "o *proof of work* é um sistema de consenso que cria uma competição entre os nós da rede para resolver um problema matemático difícil e, assim, ganhar o direito de criar o próximo bloco de transações". Ele ainda destaca que este processo envolve a "queima" de energia e recursos computacionais para resolver os problemas matemáticos, aumentando a segurança do sistema e dificultando a tentativa de ataque por parte de agentes maliciosos.

Por sua vez, Narayanan *et al.* (2016) explicam que o algoritmo de *proof of work* é projetado para ser difícil de resolver, mas fácil de verificar. Isso significa que qualquer nó da rede pode facilmente verificar se o problema matemático foi resolvido corretamente, mas a resolução em si requer muita energia e poder computacional. Eles ainda destacam que o sistema de *proof of work* tem uma distribuição justa de recompensas e que não há incentivo para um nó tentar enganar a rede, pois isso resultaria em um grande gasto de recursos sem garantia de sucesso.

Além disso, a *blockchain* é uma tecnologia de "livro-razão distribuído", o que significa que todas as transações são mantidas em um registro compartilhado e acessível publicamente. Como Antonopoulos (2014) explica em seu livro "Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies", "todos os nós na rede têm uma cópia do livro-razão completo e verificável, o que significa que não há necessidade de uma autoridade central para validar transações".

Isso torna a *blockchain* uma tecnologia altamente confiável e segura para a realização de transações financeiras e outros registros de dados. Como destacam Narayanan *et al.* (2016) em seu livro "Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction", "a *blockchain* é uma tecnologia transformadora que tem o potencial de revolucionar a maneira como fazemos negócios, transferimos informações e nos relacionamos uns com os outros".

2.1.1 Mecanismos de Consenso

Há inúmeros mecanismos de consenso, sendo os Três principais: *Proof of Work*(PoW), *Proof of Stake*(PoS) e *Proof of Capacity*(PoC).

O mecanismo de consenso PoW é usado pelo Bitcoin e várias outras criptomoedas. Ele exige que os nós da rede resolvam problemas computacionais complexos para validar as transações e adicionar blocos à *blockchain*. O processo é competitivo e consome muita energia. "Os nós da rede PoW competem entre si para resolver um problema matemático complexo e o primeiro a resolvê-lo adiciona um bloco à cadeia, recebendo uma recompensa em troca" (NARAYANAN *et al.*, 2016).

O PoS é outro mecanismo de consenso que visa reduzir o consumo de energia do PoW. Em vez de resolver problemas matemáticos complexos, os nós de rede PoS apostam suas moedas para validar transações e adicionar novos blocos à *blockchain*. Quanto mais moedas um nó possui, maior a chance de ser escolhido para adicionar o próximo bloco. "No PoS, os nós da rede são escolhidos aleatoriamente para validar transações com base em sua participação na rede, que é medida por sua quantidade de moedas" (ANTONOPOULOS, 2014).

O PoC é outro mecanismo de consenso que se baseia no espaço em disco. Ele usa o espaço em disco disponível para armazenar dados pré-calculados para resolver problemas computacionais. "No PoC, os nós de rede competem para mostrar a capacidade do espaço em disco disponível para resolver problemas computacionais e validar transações" (YUAN, Y.; ZHU, S.; CHEN, G, 2018).

Cada mecanismo tem suas próprias vantagens e desvantagens. O PoW é o mais comum, mas consome muita energia. O PoS é mais eficiente em termos de energia, mas favorece os nós com mais moedas e acaba pondo em risco o objetivo de descentralização. O PoC é baseado no espaço em disco e têm como objetivo reduzir o consumo de energia expressivamente, mantendo a segurança do modelo PoW.

2.1.2 Contratos inteligentes

Os contratos inteligentes são programas de computador autoexecutáveis que permitem a criação de acordos e transações confiáveis e seguras, sem a necessidade de intermediários. Eles são executados em cima da tecnologia *blockchain*, que garante a segurança e a transparência das transações. Os contratos inteligentes podem ser usados em diversos setores, como finanças, logística, saúde e eleições, para automatizar processos e eliminar a necessidade de intermediários.

De acordo com Antonopoulos (2014), um contrato inteligente é "um programa de computador que executa os termos de um contrato de forma automática". Ele descreve um contrato inteligente como um conjunto de regras e procedimentos que são codificados em um programa de computador, e que são executados automaticamente quando as condições pré-definidas são atendidas. Esses contratos podem ser usados para automatizar processos e para fornecer segurança e transparência em transações financeiras, sem a necessidade de intermediários.

Segundo Swan (2015), os contratos inteligentes são capazes de "reduzir os custos e aumentar a eficiência, permitindo que as partes concordem com os termos do contrato sem a necessidade de um intermediário confiável". Eles também podem ajudar a reduzir fraudes e erros, ao automatizar processos e garantir a execução dos termos acordados.

Os contratos inteligentes são executados em cima de uma *blockchain*, que é uma tecnologia distribuída e descentralizada que garante a segurança e a transparência das transações. Segundo Szabo (1997), o criador do conceito de contratos inteligentes, "os contratos inteligentes são possíveis graças à tecnologia de criptografia e ao uso de uma *blockchain* distribuída, que garante a segurança e a transparência das transações".

Algumas das principais características dos contratos inteligentes incluem a capacidade de serem autoexecutáveis, o uso de criptografia para garantir a segurança das transações, a

transparência das transações, a descentralização e a imutabilidade. Eles podem ser usados em diversas áreas, como finanças, logística, saúde e eleições, para automatizar processos e eliminar a necessidade de intermediários.

2.1.3 Tokens e Criptomoedas

A criptomoeda é uma forma de dinheiro digital que usa criptografia para garantir a segurança das transações e controlar a criação de novas unidades. Já o token é um ativo digital que representa um determinado valor ou utilidade e pode ser emitido em uma *blockchain*.

De acordo com Buterin (2014), criptomoedas são "moedas digitais, que usam criptografia forte para proteger a autenticação das transações e a criação de novas unidades". Ele destaca que as criptomoedas são geralmente descentralizadas, ou seja, não são controladas por uma autoridade central, e são baseadas em uma *blockchain*.

Por outro lado, os tokens são mais abrangentes e podem ser usados para representar diferentes tipos de ativos, como propriedade, direitos de voto, acesso a serviços e muito mais. De acordo com Swan (2015), "um token é um ativo digital que representa uma unidade de valor ou utilidade". Ele explica que os tokens podem ser emitidos em uma *blockchain*, e que sua emissão e transferência são registradas de forma segura e confiável na *blockchain*.

Embora as palavras "token" e "criptomoeda" sejam frequentemente usadas de forma intercambiável, há uma distinção importante entre elas. Em termos gerais, uma criptomoeda é uma moeda digital que opera independentemente de uma instituição financeira centralizada, usando criptografia para garantir e verificar transações e para controlar a criação de novas unidades. Já os tokens podem representar uma ampla variedade de ativos digitais, como ativos físicos, utilidades em aplicativos, direitos de propriedade intelectual e muito mais, ou seja, pequenas frações de um todo, onde geralmente são centralizados em uma instituição ou projeto.

2.2 Modelos de Financiamento Coletivo

Os modelos de financiamento coletivo, também conhecidos como *crowdfunding*, são uma forma de financiamento colaborativo que tem se popularizado nos últimos anos. Segundo Agrawal, Catalini e Goldfarb. (2015), o *crowdfunding* é um processo colaborativo que envolve uma ampla rede de pessoas que contribuem com pequenas quantias de dinheiro para financiar um projeto.

Existem diversos tipos de *crowdfunding*, cada um com suas particularidades. Os principais modelos de *crowdfunding* são: doações, recompensas, empréstimos e investimentos. (BELLEFLAMME, P.; LAMBERT, T.; SCHWIENBACHER, A., 2014)

2.2.1 Crowdfunding do Tipo Empréstimo

No *crowdfunding* do tipo empréstimo, os investidores emprestam dinheiro ao criador do projeto, que deve pagar o dinheiro de volta com juros em um período específico de tempo. Segundo Belleflamme, Lambert e Schwienbacher (2014), esse modelo de financiamento

coletivo é adequado para pequenas empresas que buscam financiamento, mas que podem ter dificuldades para obter empréstimos de bancos tradicionais.

De acordo com Mollick (2014), uma das principais vantagens do *crowdfunding* do tipo empréstimo é que ele oferece uma forma mais acessível de empréstimo para pequenas empresas. Além disso, o *crowdfunding* do tipo empréstimo pode ajudar a aumentar a transparência e a responsabilidade do criador do projeto, já que ele deve prestar contas aos investidores que emprestaram dinheiro.

No entanto, há também alguns riscos associados ao *crowdfunding* do tipo empréstimo. De acordo com Belleflamme, Lambert e Schwienbacher (2014), o maior risco é o inadimplemento do criador do projeto, que pode não ser capaz de pagar o dinheiro de volta aos investidores. Além disso, os investidores podem não conseguir recuperar todo o valor investido, caso o criador do projeto entre em falência.

Para minimizar esses riscos, é importante que o criador do projeto apresente um plano de negócios sólido e que os investidores realizem uma análise cuidadosa antes de investir. Além disso, as plataformas de *crowdfunding* podem adotar medidas para proteger os investidores, como verificar a capacidade de pagamento do criador do projeto e garantir que ele cumpra suas obrigações financeiras.

2.2.2 Crowdfunding do Tipo Investimento

O *crowdfunding* do tipo investimento, também conhecido como *equity crowdfunding*, permite que investidores adquiram uma participação acionária em empresas iniciantes em troca de seu investimento financeiro.

Segundo Belleflamme, Lambert e Schwienbacher (2014), "o *equity crowdfunding* permite que indivíduos ou empresas invistam diretamente em empresas iniciantes, oferecendo a oportunidade de lucrar com o crescimento da empresa e de apoiar o empreendedorismo". Este modelo de *crowdfunding* é atraente para empreendedores que buscam capital para expandir seus negócios e para investidores que buscam oportunidades de investimento de alto potencial.

No entanto, o *equity crowdfunding* também apresenta algumas desvantagens. Mochkabadi e Volkmann (2018) destacam que o *equity crowdfunding* apresenta riscos tanto para investidores quanto para empreendedores. Os investidores enfrentam a possibilidade de perder todo o seu investimento, pois muitas empresas iniciantes não conseguem se estabelecer e falham no mercado.

Conforme destacado por Ahlens, Cumming, Günther e Schweizer (2015), os investidores podem exercer influência sobre a gestão da empresa, o que pode ser um desafio para os empreendedores que buscam manter o controle e a autonomia em suas empresas. Esses riscos e desafios tornam o *equity crowdfunding* uma opção complexa e potencialmente menos atraente para alguns empreendedores e investidores.

2.3 Sustentabilidade na Construção Civil

A sustentabilidade na construção civil envolve uma série de conceitos importantes que devem ser entendidos e considerados durante o processo de planejamento e execução das obras.

Alguns desses conceitos são, a Eficiência energética, Gestão de resíduos, Qualidade do ar interno, Uso de materiais sustentáveis e o Impacto no ambiente externo.

2.3.1 Eficiência Energética

A eficiência energética é definida como a redução do consumo de energia em um determinado sistema ou processo, mantendo ou melhorando sua eficácia. Na construção civil, a eficiência energética pode ser alcançada por meio de medidas como o uso de materiais e equipamentos com baixo consumo energético, a adoção de soluções passivas de iluminação e ventilação, e o aproveitamento de fontes de energia renovável, como a energia solar (GOMES *et al.*, 2021).

2.3.2 Uso de Materiais Sustentáveis

A construção civil é uma das principais geradoras de resíduos sólidos, e a utilização de materiais sustentáveis pode auxiliar na redução desse impacto ambiental (KIBERT, 2016). Materiais sustentáveis são aqueles com um ciclo de vida mais extenso, recicláveis, que possuem menor impacto ambiental na produção e/ou podem ser feitos a partir de materiais reciclados (KIBERT, 2016). Exemplos de materiais sustentáveis englobam madeira certificada, concreto com adição de resíduos e materiais reciclados, e tintas e revestimentos com baixa emissão de COVs (Compostos Orgânicos Voláteis), como solventes prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana (BERGE, B 2009).

2.3.3 Gestão de Resíduos

A gestão de resíduos é essencial para minimizar o impacto ambiental da construção civil. Isso envolve a implementação de medidas de redução, reutilização e reciclagem de resíduos, além da correta disposição final dos resíduos que não podem ser reaproveitados. A gestão de resíduos também pode envolver a implantação de sistemas de logística reversa para o descarte de materiais como vidro, plástico e metais (DA SILVA *et al.*, 2020).

2.3.4 Qualidade do Ar Interno

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição do ar interno é responsável por cerca de 4,3 milhões de mortes por ano em todo o mundo (OMS, 2021). Para melhorar a qualidade do ar interno, é necessário considerar a ventilação, o controle de umidade, o uso de materiais com baixas emissões de compostos orgânicos voláteis (COVs) e a manutenção adequada dos sistemas de ar condicionado (MENDES, L.; DE BRITO, J.; MATEUS, R., 2019).

2.3.5 Impacto no Ambiente Externo

Impacto no ambiente externo é responsável por cerca de 30% a 40% do consumo mundial de energia e de materiais, além de ser responsável por 30% das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (LAPENDA, J. F.; GOMES, E. G. L.; RIBEIRO, G. C., 2018).

Medidas de mitigação de impacto ambiental podem ser implementadas através da adoção de tecnologias de construção sustentável, como por exemplo, a utilização de materiais de construção com menor impacto ambiental, a utilização de técnicas construtivas que visem a redução do consumo de energia e água, e a implementação de sistemas de tratamento de águas residuais (MANDILARAS *et al.*, 2021).

Além disso, medidas de conservação da biodiversidade são importantes em projetos sustentáveis na construção civil, uma vez que a urbanização é uma das principais causas de perda de biodiversidade no mundo (LAPENDA, J. F.; GOMES, E. G. L.; RIBEIRO, G. C., 2018). Medidas como a utilização de materiais de construção sustentáveis e a preservação de áreas verdes podem ajudar a minimizar o impacto da construção civil na biodiversidade.

Outra medida importante é a conservação da água, uma vez que a construção civil é uma das principais responsáveis pelo consumo de água no mundo (MANDILARAS *et al.*, 2021). A adoção de técnicas construtivas que visem a redução do consumo de água, a implementação de sistemas de reuso de água e a utilização de materiais de construção que reduzam o consumo de água são medidas importantes para minimizar o impacto da construção civil na disponibilidade hídrica.

Certificações ambientais, como a certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), podem ajudar a garantir que as medidas de mitigação de impacto ambiental e conservação da biodiversidade e da água estejam sendo implementadas de forma efetiva nos projetos sustentáveis na construção civil (MANDILARAS *et al.*, 2021).

2.4 Estado Atual da Sustentabilidade na Construção Civil

Segundo um estudo realizado pelo World Green Building Council (2019), os edifícios são responsáveis por cerca de 39% das emissões de CO₂ no mundo. Além disso, eles consomem cerca de 40% da energia e 25% da água utilizadas globalmente. Esses dados mostram que a construção civil é uma das principais responsáveis pela degradação do meio ambiente.

Outro dado que evidencia a ineficiência do estado atual da sustentabilidade na construção civil é o fato de que, apesar da existência de diversas normas e certificações, a adoção delas ainda é baixa. De acordo com o Green Building Council Brasil (2018), até 2018 apenas cerca de 500 edifícios no país possuíam a certificação LEED, uma das mais reconhecidas na área de construção sustentável.

Além disso, a falta de conhecimento e conscientização dos profissionais da área de construção civil também contribui para a ineficiência da sustentabilidade. Um estudo realizado por Leite *et al.*, (2020) apontou que muitos engenheiros civis não possuem conhecimento sobre construções sustentáveis e utilizam métodos tradicionais que não levam em consideração a sustentabilidade.

Portanto, é evidente que há uma ineficiência no estado atual da sustentabilidade na construção civil, e é necessário um esforço conjunto dos profissionais da área, governos e sociedade em geral para que a construção civil possa ser verdadeiramente sustentável e reduzir seus impactos ambientais.

2.5 Barreiras à adoção da construção sustentável

A adoção da construção sustentável ainda é um desafio em muitos setores da indústria da construção. Apesar dos inúmeros benefícios que a construção sustentável pode proporcionar, há ainda diversas barreiras que impedem sua adoção em larga escala. A seguir, serão apresentados e discutidos os 5 principais motivos de existirem essas barreiras, com base em estudos e pesquisas realizadas na área da construção sustentável.

Falta de incentivos financeiros: Segundo a pesquisa realizada por Monteiro e González (2019), a falta de incentivos financeiros é uma das principais barreiras à adoção da construção sustentável. De acordo com os autores, os investimentos necessários para a implementação de práticas sustentáveis podem ser significativos, e muitas vezes as empresas não têm o capital necessário para realizar tais investimentos. Além disso, muitas vezes as empresas não veem um retorno financeiro imediato no investimento em práticas sustentáveis.

Falta de conhecimento e capacitação: A falta de conhecimento e capacitação é outra barreira identificada na adoção da construção sustentável. Segundo a pesquisa de Halog e Manik (2019), muitos profissionais da construção civil não têm conhecimento adequado sobre práticas sustentáveis e tecnologias verdes. Isso pode levar a uma falta de compreensão sobre os benefícios e a eficácia dessas práticas.

Falta de conscientização e demanda do mercado: Segundo a pesquisa de Ardit, Dikman e Birgonul (2018), a falta de conscientização e demanda do mercado é outra barreira importante para a adoção da construção sustentável. Os autores afirmam que muitas vezes os consumidores não estão dispostos a pagar mais por edifícios sustentáveis e que a falta de conscientização sobre a importância da sustentabilidade é um obstáculo para a adoção dessas práticas.

Regulamentações e normas insuficientes: De acordo com a pesquisa de Yin, He e Shan (2020), regulamentações e normas insuficientes também são uma barreira para a adoção da construção sustentável. Os autores afirmam que muitas vezes as normas e regulamentações são fracas ou inexistentes, o que leva à falta de incentivos para a adoção de práticas sustentáveis.

Falta de cooperação e coordenação: A falta de cooperação e coordenação entre as partes interessadas na construção civil é outro motivo que dificulta a adoção da construção sustentável. De acordo com a pesquisa de Chan e Wong (2018), a falta de cooperação entre proprietários, empreiteiros, arquitetos e outros profissionais envolvidos na construção pode levar a atrasos e conflitos na implementação de práticas sustentáveis.

3. Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa adota uma abordagem exploratória para investigar o potencial da tecnologia *blockchain* no fomento ao financiamento de projetos sustentáveis na construção civil. A metodologia consiste em duas etapas: análise de cenários hipotéticos e síntese dos resultados, considerando a revisão de literatura previamente apresentada.

3.1 Análise de Cenários Hipotéticos

A análise de cenários hipotéticos será realizada com base nos conhecimentos obtidos na revisão de literatura. Serão criados cenários fictícios, mas plausíveis, envolvendo o uso da *blockchain* para financiamento de projetos sustentáveis na construção civil. Os cenários serão estruturados com base em características comuns identificadas na literatura, como: transparência, descentralização, segurança e rastreabilidade (SWAN, 2015; YLI-HUUMO *et al.*, 2016).

Para cada cenário, serão analisadas vantagens e desafios relacionados à implementação da tecnologia *blockchain*, considerando aspectos como governança, custos, regulamentação e impacto socioambiental (MENDONZA-TELLO *et al.*, 2018; SABERI *et al.*, 2019).

3.2 Síntese dos Resultados

A síntese dos resultados será realizada através da comparação e análise das vantagens e desafios identificados nos cenários hipotéticos. O objetivo desta etapa é desenvolver uma compreensão aprofundada do potencial da *blockchain* no financiamento de projetos sustentáveis na construção civil e identificar possíveis áreas de pesquisa futura.

3.3 Limitações da pesquisa

Esta pesquisa apresenta limitações decorrentes do foco em cenários hipotéticos e da ausência de casos reais. Entretanto, a abordagem exploratória é justificada pela necessidade de entender o potencial da *blockchain* no contexto específico do financiamento de projetos sustentáveis na construção civil, antes de investigar casos práticos.

4. Análises dos Resultados e Discussões

4.1 Cenário 1: Plataforma de Financiamento Coletivo Baseada em Blockchain

Neste cenário, é desenvolvida uma plataforma de financiamento coletivo (*crowdfunding*) baseada em *blockchain* para conectar investidores e projetos sustentáveis na construção civil. A plataforma utilizaria contratos inteligentes para garantir a transparência das transações e garantir que os fundos sejam liberados apenas quando determinados marcos do projeto forem alcançados.



Vantagens:

Transparência e rastreabilidade das transações, aumentando a confiança dos investidores; Redução de intermediários e custos associados; Maior acesso a financiamento para projetos sustentáveis de pequena e média escala.

Desafios:

Necessidade de regulamentação e conformidade com leis locais; Requisitos de infraestrutura e segurança digital; Possível resistência dos atores tradicionais do mercado financeiro.

4.2 Cenário 2: Tokenização de Ativos Imobiliários Sustentáveis

Neste cenário, ativos imobiliários sustentáveis são tokenizados e registrados em uma *blockchain*. Investidores podem adquirir frações desses ativos, permitindo uma distribuição mais ampla dos investimentos em projetos sustentáveis.

Vantagens:

Aumento da liquidez e divisibilidade dos ativos imobiliários; Inclusão financeira, permitindo que pequenos investidores participem do financiamento de projetos sustentáveis; Facilidade do rastreamento e monitoramento do desempenho ambiental dos ativos.

Desafios:

Necessidade de um quadro regulatório adequado; Risco de volatilidade dos tokens; Possíveis problemas de governança e coordenação entre investidores.

4.3 Cenário 3: Registro e monitoramento de Créditos de Carbono na Construção Civil

Neste cenário, uma solução baseada em *blockchain* é desenvolvida para rastrear e monitorar créditos de carbono gerados por projetos sustentáveis na construção civil. Isso permite que empresas e investidores possam comprar, vender e compensar esses créditos de forma mais eficiente e transparente.

Vantagens:

Transparência e rastreabilidade dos créditos de carbono, melhorando a confiabilidade do mercado; Redução de fraudes e duplicidades na emissão e negociação de créditos de carbono; Estímulo à adoção de práticas sustentáveis no setor da construção civil.

Desafios:

Integração com sistemas de registro e monitoramento existentes; Necessidade de consenso e cooperação entre os atores do mercado; Risco de centralização e controle por grandes empresas e governos.

Estes cenários hipotéticos apresentam uma visão geral das possíveis aplicações da tecnologia *blockchain* no financiamento de projetos sustentáveis na construção civil. A

análise de suas vantagens e desafios pode ajudar a identificar áreas promissoras para pesquisa e desenvolvimento futuro.

4.4 Contratos Inteligentes na Construção Sustentável

Os contratos inteligentes (smart contracts) também podem fazer a execução automática e autônoma de cláusulas e termos dos contratos. Na construção sustentável, eles têm potencial para aumentar a transparência, eficiência e segurança nas transações, além de facilitar a implementação de práticas sustentáveis.

Segundo pesquisa realizada por Al-Bar *et al.* (2020), os contratos inteligentes podem ajudar a melhorar a eficiência energética e reduzir o desperdício de recursos na construção. Por exemplo, eles podem ser usados para automatizar o controle de sistemas de iluminação, ar condicionado e aquecimento, garantindo que estes operem apenas quando necessário e em níveis adequados.

Além disso, os contratos inteligentes podem ser usados para garantir a conformidade com padrões de sustentabilidade e regulamentações ambientais. De acordo com a pesquisa de Yao *et al.* (2019), os contratos inteligentes podem incluir cláusulas específicas para o uso de materiais sustentáveis, a gestão adequada de resíduos e a redução do impacto ambiental.

Outra vantagem dos contratos inteligentes na construção sustentável é a possibilidade de reduzir custos e riscos por meio da automatização de processos e da eliminação de intermediários. De acordo com a pesquisa de Wu *et al.* (2020), a aplicação de contratos inteligentes em projetos de construção pode levar a uma redução significativa de custos, além de aumentar a transparência e reduzir o tempo de conclusão de projetos.

4.5 O uso de Sistemas de Pontuação Sustentável

Um possível sistema de incentivo financeiro para a adoção da construção sustentável poderia envolver a criação de uma pontuação de sustentabilidade que avalia as práticas sustentáveis adotadas por uma empresa durante a construção de um edifício. Essa pontuação poderia ser usada para fornecer incentivos financeiros às empresas que adotam práticas sustentáveis.

De acordo com a pesquisa de Soomro e Arain (2019), um sistema de pontuação de sustentabilidade pode ser implementado por meio da tecnologia *blockchain*, permitindo a criação de um registro imutável e transparente das práticas sustentáveis adotadas por uma empresa. Esse registro pode ser usado para calcular a pontuação de sustentabilidade da empresa e fornecer incentivos financeiros com base nessa pontuação.

Além disso, o sistema de pontuação de sustentabilidade pode ser integrado a certificações de sustentabilidade existentes, como o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), para fornecer uma avaliação mais abrangente das práticas sustentáveis adotadas pela empresa. Isso pode ajudar a aumentar a visibilidade das empresas que adotam práticas sustentáveis e incentivar outras empresas a fazerem o mesmo, o que também já iria auxiliar na criação de um padrão de sustentabilidade, reforçando normas e regulamentações.

Um exemplo de tabela com base na proposta é a feita pelo artigo de Soomro e Arain (2019).

Tabela 1: Critérios de avaliação de sustentabilidade na construção civil

Categoria	Pontuação Máxima	Critérios
Eficiência Energética	30	Uso de fontes renováveis de energia (10), Uso de tecnologias de eficiência energética (10), Certificação de eficiência energética (10)
Gestão de Resíduos	20	Redução de resíduos durante a construção (5), Reutilização de materiais de construção (5), Reciclagem de resíduos (5), Certificação de gestão de resíduos (5)
Qualidade do Ar Interno	15	Uso de materiais de baixa emissão de VOCs (5), Ventilação eficiente (5), Certificação de qualidade do ar interno (5)
Uso de Materiais Sustentáveis	15	Uso de materiais reciclados (5), Uso de materiais renováveis (5), Uso de materiais certificados (5)
Impacto no Ambiente Externo	20	Uso de medidas de mitigação de impacto ambiental (5), Uso de medidas de conservação da biodiversidade (5), Uso de medidas de conservação da água (5), Certificação de impacto ambiental (5)

Fonte: Soomro e Arain, (2019)

No entanto, é importante ressaltar que a definição da pontuação máxima e dos critérios pode variar de acordo com a proposta de cada sistema de pontuação.

5. Considerações Finais

Há várias formas de tornar financeiramente vantajoso construir sustentavelmente, criando campanhas e ofertas de *crowdfunding* nos modelos empréstimo ou investimentos, onde a construtora criaria seu próprio token para permitir a arrecadação, poderia dar incentivos de *cashback* para os mesmos investidores iniciais ou aqueles que desejassem comprar um imóvel com o uso dos tokens. Além de parcerias com o governo para subsidiar parte dos custos a ponto de tornar a operação financeiramente viável para as construtoras e uma opção de compra mais vantajosa para o usuário final, assim, criando demanda para o mercado de construção sustentável.

Com o aumento de demanda, haverá um aumento na procura de profissionais capacitados, aumentando a remuneração média de um profissional da construção sustentável.

Uma alta remuneração média fornecerá o ambiente adequado para uma alta procura de conscientização e capacitação profissional para o setor, formando cada vez mais profissionais capacitados e conscientes.

Com a alta de profissionais capacitados, conscientes e de pensamento similar, com foco na sustentabilidade, haverá um aumento na cooperação e coordenação de cada nível hierárquico na estrutura operacional de cada empresa.

No longo prazo, a construção sustentável vai ser tão explorada por todos os cidadãos comuns que criará um novo hábito para a sociedade, onde o padrão se torna o sustentável e qualquer projeto não sustentável é repudiado e desencorajado pela própria população, possibilitando assim a remoção dos incentivos governamentais inicialmente implementados.

Referências

- AHLERS, G. K.; CUMMING, D.; GÜNTHER, C.; SCHWEIZER, D. Signaling in equity crowdfunding. **Entrepreneurship Theory and Practice**, v. 39, n. 4, p. 955-980, 2015. <https://doi.org/10.1111/etap.12157>
- AGRAWAL, A.; CATALINI, C.; GOLDFARB, A. Crowdfunding: Geography, social networks, and the timing of investment decisions. **Journal of Economics & Management Strategy**, v. 24, n. 2, p. 253-274, 2014.
- AL-BAR, H.; AL-KANDARI, A. M.; AL-AWADHI, M. A. The Impact of Smart Contracts on Sustainability in Construction Projects. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 6047, 2020.
- ANTONOPOULOS, A. M. **Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies**. Sebastopol: O'Reilly Media, 2014.
- ARDITI, D.; DIKMEN, I.; BIRGONUL, M. T. Barriers to implementing sustainable construction practices. **Journal of Management in Engineering**, v. 34, n. 1, p. 04017035, 2018.
- BELLEFLAMME, P.; LAMBERT, T.; SCHWIENBACHER, A. Crowdfunding: Tapping the right crowd. **Journal of Business Venturing**, v. 29, n. 5, p. 585-609, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2013.07.003>
- BERGE, B. **A ecologia dos materiais de construção**. 2. ed. Oxford: Architectural Press, 2009.
- BUTERIN, V. **Ethereum: A Next-Generation Smart Contract and Decentralized Application Platform**. [S.l.]: GitHub Repository, 2014. Disponível em: <https://ethereum.org/en/whitepaper/>. Acesso em: 09 mar. 2023
- CHAN, E. H.; WONG, S. K. Understanding the barriers to implementing sustainable construction practices in Hong Kong. **International Journal of Construction Education and Research**, v. 14, n. 3, p. 235-247, 2018.



DA SILVA, C. S.; CAMPOS, R. A.; NASCIMENTO, R. S.; AGUIAR, M. C. S.; SILVA, M. S.; SANTOS, J. C. Gestão de resíduos sólidos na construção civil: revisão bibliográfica. **Engenharia Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 1-18, 2020.

GOMES, R.; BARBOSA, W.; SANTOS, M.; SOUZA, R. Eficiência energética na construção civil: uma revisão sistemática da literatura. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 16, n. 2, p. 16-34, 2021.

GLOBAL CONSTRUCTION PERSPECTIVES; OXFORD ECONOMICS. **The Future of Construction**. 2020. Disponível em: <https://resources.oxfordeconomics.com/hubfs/Africa/Future-of-Construction-Full-Report.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL. **Números do mercado de construção sustentável no Brasil**. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/brasil-ocupa-o-4o-lugar-no-ranking-mundial-de-construcoes-sustentaveis-certificadas-pela-ferramenta-internacional-lead/>. Acesso em: 16 mar. 2023.

HALOG, A.; MANIK, M. Exploring the Barriers to Sustainable Construction Practices in Developing Countries: A Malaysian Perspective. **Buildings**, v. 9, n. 9, p. 210, 2019.

KIBERT, C. J. **Construção sustentável: projeto e entrega de edifícios verdes**. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2016.

LAPENDA, J. F.; GOMES, E. G. L.; RIBEIRO, G. C. Sustentabilidade na Construção Civil: Uma Revisão Bibliográfica. **Anais Do Encontro De Ensino, Pesquisa E Extensão**, p. 1-10, 2018.

LEITE, Rafael A.; PAULA, Fábio C. de; MOURA, Fernando F.; SILVA, Maria L.; GOMES, Fabiana S. Sustentabilidade na construção civil: um estudo sobre a visão dos engenheiros civis. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e5799108420, 2020

MANDILARAS, I.; KARYOTAKIS, G.; TATSIPOULOS, I.; TSANGRASSOULIS, A. Sustainable construction: An overview of the state of the art. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, v. 12, n. 2, p. 86-101, 2021.

MENDONZA-TELLO, J. C.; MORA, H.; CRESSWELL, K. M. Blockchain adoption in the public sector: A systematic literature review. **Government Information Quarterly**, v. 35, n. 4, p. 618-628, 2018.

MENDES, L.; DE BRITO, J.; MATEUS, R. Sustainable construction: main challenges for the construction industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 285-293, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.218

MOCHKABADI, K.; VOLKMANN, C. K. Equity crowdfunding: a systematic review of the literature. **Small Business Economics**, v. 54, p. 75-118, 2020. DOI: 10.1007/s11187-018-0081-x. <https://doi.org/10.1007/s11187-018-0081-x>

MOLLICK, E. The dynamics of crowdfunding: An exploratory study. **Journal of Business Venturing**, v. 29, n. 1, p. 1-16, 2014.

MONTEIRO, D.; GONZÁLEZ, V. **Barriers to the adoption of sustainable construction practices in Brazil**.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**. Consultado em 14 de março de 2023, de <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

NARAYANAN, A.; BONNEAU, J.; FELTEN, E.; MILLER, A.; GOLDFEDER, S. **Bitcoin and Cryptocurrency Technologies: A Comprehensive Introduction**. Princeton: Princeton University Press, 2016.

OMS (Organização Mundial da Saúde). (2021). **Poluição do ar interno**. Recuperado em 16 de março de 2023, de <https://www.who.int/news/item/27-05-2016-enhanced-global-action-on-air-pollution-improve-d-at-wha69>

SABERI, S.; KOUHIZADEH, M.; SARKIS, J.; SHEN, L. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 7, p. 2117-2135, 2019. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>

SOOMRO, M. A.; ARAIN, Q. A. Blockchain for sustainable energy: A review, classification and meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 511-522, 2019. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.259

SWAN, M. **Blockchain: blueprint for a new economy**. O'Reilly Media, Inc: USA, 2015.

SZABO, N. **Smart contracts: Building blocks for digital markets**. 1997. Disponível em: http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinter school2006/szabo.best.vwh.net/smart_contracts_2.html. Acesso em: 14 jan. 2023.

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL. **Bringing embodied carbon upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon**. London: World Green Building Council, 2019.

WU, W.; ZHU, L.; WANG, H.; WANG, X. A Smart Contract-Based System for Construction Project Management. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4611, 2020.

YAO, J.; ZHAO, Z.; ZHANG, Y.; LIN, L. A Smart Contract-Based Framework for Sustainable Construction Management. **Advances in Civil Engineering**, v. 2019, p. 1-11, 2019.

YERMACK, D. **Is Bitcoin a Real Currency? An Economic Appraisal**.

YIN, Y.; HE, X.; SHAN, M. Barriers and solutions to sustainable construction: perspectives from practitioners and scholars. **Sustainable Cities and Society**, v. 60, 102235, 2020.

YLI-HUUMO, J.; KO, D.; CHOI, S.; PARK, S.; SMOLANDER, K. **Where Is Current Research on Blockchain Technology? A Systematic Review**. PLoS ONE 11(10): e0163477. doi:10.1371/journal.pone.0163477

YUAN, Y.; ZHU, S.; CHEN, G. Proof of capacity consensus mechanism for blockchain based on storage space. **Future Generation Computer Systems**, v. 82, p. 82-88, 2018. doi: 10.1016/j.future.2017.12.035.