

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE GESTÃO E NEGÓCIOS
GRADUAÇÃO EM GESTÃO DA INFORMAÇÃO**

AMAURI CASSIANO COSTA

**CONSUMO ENERGÉTICO EM OPERAÇÕES DE LIQUIDAÇÃO FINANCEIRA:
UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UMA REDE CLÁSSICA E SMART
CONTRACTS**

**UBERLÂNDIA
2023**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE GESTÃO E NEGÓCIOS
BACHARELADO EM GESTÃO DA INFORMAÇÃO

**CONSUMO ENERGÉTICO EM OPERAÇÕES DE LIQUIDAÇÃO FINANCEIRA:
UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE UMA REDE CLÁSSICA E SMART
CONTRACTS**

Artigo científico apresentado ao Curso de Graduação em Gestão da Informação, da Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Prof. Dr. Cristiano Henrique Antonelli da Veiga

UBERLÂNDIA

2023

RESUMO

O presente artigo aborda os *smart contracts*, em uma visão de escalabilidade versus seu impacto energético, em vista de uma economia verde, trazendo também uma visão do mercado tradicional de pagamentos eletrônicos, sendo os *smart contracts*, uma opção em tese, mais segura e transparente para estas operações. Este estudo teve como objetivo principal examinar o consumo energético de duas redes de *Smart Contracts* em comparação com a rede Visa. A pesquisa é feita de maneira quantitativa e do tipo descritiva, com procedimento técnico conceitual e operativo e para coleta dos dados, utilizamos a pesquisa documental. Como resultado, foi possível observar alternativas viáveis, em vista de consumo energético, para os mercados clássicos de meios de liquidação bancária.

Palavras-chave: Smart Contracts; Hedera Hashgraph; Proof of Work – PoW; Bitcoin; Visa

1. INTRODUÇÃO

Smart contracts são contratos que podem utilizar a tecnologia *blockchain* para executar transações de forma transparente, segura e descentralizada. Essa inovação tecnológica tem o potencial de revolucionar diversos setores da sociedade, como o imobiliário, seguros, saúde e financeiro. No entanto, eles ainda apresentam desafios a serem superados.

Um dos principais desafios é a exigência de conhecimento avançado em programação e criptografia para o desenvolvimento e implantação dos *smart contracts*. Erros de programação nesses contratos podem ter consequências graves, causando prejuízos e danos significativos. Além disso, a segurança e a privacidade dos dados envolvidos nas transações também são desafios a serem enfrentados, uma vez que os *smart contracts* são executados em plataformas *blockchain* descentralizadas, acessíveis a qualquer pessoa.

O consumo de energia também é um aspecto importante a ser considerado, uma vez que as tecnologias utilizadas para a execução dos *smart contracts*, como a mineração de criptomoedas, demandam um alto consumo energético. Isso pode ter um impacto significativo no meio ambiente, especialmente quando a geração de energia é baseada em fontes de combustíveis fósseis, sendo necessário a busca por soluções sustentáveis, como o uso de fontes de energia renovável e tecnologias mais eficientes.

No contexto dos meios de pagamento, as tecnologias adotadas também passaram por evoluções significativas. Um exemplo são cartões de crédito e débito que ainda são amplamente utilizados, oferecendo segurança, praticidade e programas de recompensas. Os pagamentos móveis, realizados por meio de dispositivos móveis, como *smartphones*, estão se tornando cada vez mais populares, oferecendo conveniência e integração de diferentes serviços financeiros.

Cada uma dessas tecnologias enfrenta desafios regulatórios, legais e de segurança que precisam ser superados para garantir sua adoção em larga escala. É fundamental desenvolver um ecossistema confiável e sustentável para o uso de *smart contracts* e tecnologias de pagamento, envolvendo colaboração entre empresas, governos e organizações não governamentais, buscando uma economia mais verde e segura para ampla adoção.

Este estudo teve como objetivo principal examinar o consumo energético de duas redes de *smart contracts*, PoW Bitcoin e Hedera Hashgraph, em comparação com a rede Visa, cujo foco foi o de verificar a eficiência energética das transações de cada uma das redes e realizar uma análise comparativa dos resultados energéticos entre as plataformas de liquidação financeira.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa, abordaremos os elementos iniciais para compreender a origem das criptomoedas, como elas se popularizaram, seus benefícios, entraves jurídicos que surgiram com sua adoção, a dor com relação ao consumo energético e os princípios de governança Ambiental, Social e Corporativa - ESG, por fim apresenta as tecnologias atuais de transferência financeira.

De início, este referencial abordou o princípio básico de um contrato, partindo dos *smart contracts*, seus benefícios, riscos e implicações jurídicas. Em seguida partiu-se para uma visão energética do processo, uma das principais dores deste modelo de tecnologia, muito em vista das implicações ambientais hoje e em um hipotético futuro de ampla adoção da tecnologia. Finalizamos com uma abordagem sobre a liquidação de capitais, abordando transações entre países e transações entre pessoas físicas como cartões e PIX.

2.1 *SMART CONTRACTS*: CONCEITOS, LIMITAÇÕES, APLICABILIDADE E DESAFIOS

Uma das necessidade de regular os acordos entre os indivíduos na sociedade atual é a utilização de contratos. Sua importância está no fato deles servirem como meio de formalizar uma relação, ou seja, definir as garantias e obrigações entre as partes e isso propicia um dos alicerces de uma economia de mercado, a ponto de estar estabelecido em lei.

A atual revolução digital, conforme Szabo (1997), mais especificamente a internet, permite estabelecer novos tipos de relacionamento e nos desafia a desenvolver novas formas de controle. Szabo (1997) apresenta o conceito de *smart contracts*, partindo-se da ideia básica de uma máquina de vendas automática, que possui a convenção social de, em troca de uma moeda, retornar um produto para o cliente, surgiu então a ideia de automatizar os contratos. A proposta de contratos inteligentes surge como uma forma de melhoria dos protocolos de segurança, garantindo um modelo em que somente um proprietário legítimo poderia utilizar seu bem, como por exemplo, o uso de seu carro.

Em meio ao avanço tecnológico e busca por redução de custos, descentralização e anonimização, surgem os contratos inteligentes ou *smart contracts*. Divino (2018) aborda os *smart contracts* como uma inovação tecnológica armazenada dentro da tecnologia *blockchain*,

permitindo que as transações e contratos sejam executados de forma automática, transparente e segura, sem a necessidade de intermediários, como bancos, cartórios ou advogados.

Os *smart contracts* ou contratos inteligentes, segundo Aguiar (2019), apresentam também o potencial e de aplicação em múltiplos setores da vida social, como o imobiliário, de seguros, saúde, bem como o financeiro, no entanto, no campo jurídico, ainda há incertezas a serem superadas sobre sua segurança jurídica.

Dentre os diversos desafios para a implantação dos *smart contracts* em larga escala é que esse tipo de tecnologia exige conhecimento avançado em programação e criptografia, segundo O'Shields (2017). O seu desenvolvimento, de acordo com Zou *et al.* (2021), requer habilidades específicas em áreas como linguagem de programação, arquitetura de sistemas distribuídos e criptografia. Como os *smart contracts* são imutáveis, ou seja, caso venha a ocorrer erros de programação, esses podem ter consequências graves e irreversíveis podendo causar sérios prejuízos ou danos.

Como os *smart contracts* são executados em plataformas *blockchain* descentralizadas, as transações são registradas em uma carteira pública e imutável, propiciando o acesso a qualquer pessoa, segundo Teixeira e Rodrigues (2019). Desta maneira, um outro desafio, segundo Divino (2018), é garantir a segurança e a privacidade dos dados envolvidos nesta modalidade de contrato, ou seja, o sistema tem que garantir que a privacidade dos dados pessoais e sensíveis venham a ser expostos indevidamente a terceiros.

Além disso, segundo Lisboa *et al.* (2020), é preciso pensar em formas de garantir a interoperabilidade entre diferentes redes de *blockchain*, o que é um desafio significativo e que impacta diretamente as empresas e o desenvolvimento dessas tecnologias. Ainda segundo Lisboa *et al.* (2020), com o aumento do número de redes *blockchain*, torna-se cada vez mais relevante abordar a questão da interoperabilidade e estabelecer pontos-chave por meio de padronizações, tendo a governança um papel fundamental na gestão dos interesses divergentes entre as diferentes redes, uma vez que cada uma delas é formada com propósitos distintos e controlada por grupos com demandas específicas.

Outro aspecto importante é a necessidade de regulamentação e supervisão desses contratos, para evitar abusos e fraudes, segundo O'Shields (2017), sendo importante que as instituições reguladoras desenvolvam marcos regulatórios adequados, que permitam a inovação e o desenvolvimento da tecnologia, ao mesmo tempo em que protegem os interesses dos consumidores.

Um risco para o mercado de capitais é a utilização de criptoativos para lavagem de dinheiro. Estellita (2020) destaca os benefícios da descentralização, pseudoanonimidade e globalidade como um catalisador para este problema. A descentralização levando a uma falta de um agente regulador para tratar os casos suspeitos e de uma instância para tratar o tema. A pseudoanonimidade das transações dificulta a identificação das origens, que mesmo registradas em código, não contém informações pessoais dos envolvidos. A globalização permite as transações serem realizadas sem barreiras e ainda sua conversão em moeda local. Por estes pontos, a autora destaca a dificuldade em relacionar as transações de criptoativos à sua causa e origem da prática de crimes.

Um último desafio dos *smart contracts*, de acordo com Prusty (2021), é a escalabilidade limitada das plataformas *blockchain* no sentido de limitar sua adoção em larga escala em áreas como pagamento e finanças descentralizadas. Possibilitar o aumento da escalabilidade sem comprometer a segurança e a descentralização é um dos desafios a serem superados pelos desenvolvedores. Cabe ainda destacar que esse é um desafio relevante, pois o tema central deste artigo tem como foco a área de pagamentos.

2.2 TECNOLOGIAS *SMART CONTRACTS* E O CONSUMO DE ENERGIA

A utilização dos *smart contracts* ocorre por meio de tecnologias que necessitam de grande consumo de energia direta e indiretamente envolvida nos processos de mineração de criptomoedas.

Vries (2018) aborda especificamente o consumo direto relacionado à mineração e utilização da rede Bitcoin, que é comparável ao consumo de energia de países como Irlanda e Áustria. O autor destaca que o processo de mineração de criptomoedas requer o uso intensivo de placas de vídeo, servidores como Antminer e equipamentos de refrigeração, todos com alto consumo de energia. Além disso, há um custo indireto associado à fabricação de chips, *fans* e outros componentes das máquinas de mineração.

Segundo o portal Digiconomist (s.d), o aumento no consumo de energia por parte da mineração de criptomoedas pode ter um impacto significativo no meio ambiente, uma vez que a geração de energia ainda é baseada em fontes de combustíveis fósseis em muitos lugares no mundo.

É importante considerar soluções para reduzir o consumo de energia nos processos de mineração de criptomoedas, como o uso de fontes renováveis, aborda Filho (2018), além de

incentivar a adoção de tecnologias mais eficientes em termos de energias, até mesmo para a viabilidade financeira das operações. Alves (2022) comenta que embora se tenham casos da utilização de fontes renováveis utilizadas para o processo de criptomoeda, o impacto negativo ainda é significativo.

Tian (2022) discute como a *tokenização* de ações conjuntas utilizando *smart contracts* pode trazer benefícios em termos de segurança e transparência para os processos, além de permitir que a população tome decisões de maneira mais consciente e confiável, por meio da remoção de intermediários e incentivos. Um exemplo disso é o caso de uso da SolarCoin, que se concentra na instalação de usinas fotovoltaicas.

Johnson *et al.* (2015), em seu estudo, apresentam e discutem as tecnologias adotadas pela SolarCoin, destacando a capacidade da comunidade de tomar decisões de investimento no projeto sem depender de grandes bancos, tendo acesso à transparência nas ações e participações de cada usuário. Esse processo permite que os investidores acompanhem de perto o impacto ambiental e social de seus investimentos e tomem decisões alinhadas com princípios de governança ambiental, social e corporativa, *Environmental, Social and Governance* - ESG.

No entanto, é importante destacar que, de acordo com o relatório do World Economic Forum (2021), a implementação de contratos inteligentes e a tokenização de ações conjuntas, enfrentam desafios regulatórios e legais, além de exigir um alto nível de segurança e confiança na tecnologia *blockchain*, sendo necessário um ecossistema confiável e sustentável, envolvendo a colaboração entre empresas e governos para desenvolver uma plataforma segura e transparente.

Narayanan *et al.* (2016), oferecem uma visão abrangente sobre criptomoedas, explorando diversas tecnologias adotadas em *smart contracts*, discute ainda a descentralização, anonimização e os mecanismos utilizados pelos *blockchains* para validar transações. Entre esses mecanismos, destaca-se a Prova de Trabalho (*Proof of Work*), popularizada pelo Bitcoin, que emprega o poder computacional para gerar e minerar blocos de transações.

O algoritmo Hashgraph, segundo Baird (2016), utiliza o protocolo Gossip de comunicação entre os nós de rede, além de ser resistente a falhas bizantinas. Falhas bizantinas, de acordo com Lamport *et al.* (2019), referem-se a um tipo específico de falhas que podem ocorrer em sistemas distribuídos, nos quais diferentes componentes do sistema precisam se comunicar e coordenar para alcançar um objetivo comum. Ainda segundo Lamport (2019), essas falhas são denominadas "bizantinas" devido ao chamado "problema dos generais bizantinos", um cenário hipotético em que generais bizantinos devem concordar em lançar um

ataque conjunto ou recuar, mas alguns deles podem ser traiçoeiros e enviar mensagens falsas ou contraditórias.

Em um contexto de sistemas distribuídos, Liskov (2012) detalha que as falhas bizantinas ocorrem quando um ou mais componentes do sistema se comportam de maneira arbitrária, inconsistente ou maliciosa, enviando mensagens falsas, omitindo informações ou executando ações imprevisíveis.

Baird (2016) propõe um novo sistema para máquinas de estado replicadas com tolerância a falhas bizantinas como alternativa à prova de trabalho, que envolve altos custos energéticos. Esse sistema utiliza o algoritmo Hashgraph que é justo em suas decisões de consenso, dificultando a manipulação das transações pelo invasor.

O sistema proposto por Baird (2016), baseado em um protocolo de "Gossip about Gossip" no qual os participantes criam um Hashgraph que reflete todos os eventos de fofocas. Essa abordagem permite alcançar um acordo bizantino por meio de votação virtual. Em vez de enviar votos pela internet, os participantes calculam os votos uns dos outros com base em seu conhecimento, com muito pouca sobrecarga de comunicação além das próprias transações.

A ideia central do sistema é que, em vez de usar a prova de trabalho, cada nó da rede coleta informações sobre transações recentes e as compartilha com outros nós da rede. À medida que mais transações são adicionadas, os nós constroem uma estrutura de dados chamada Hashgraph, que permite que todos os nós cheguem a um acordo sobre a ordem em que as transações ocorreram. Esse sistema é muito mais eficiente do que a prova de trabalho, pois não requer que os nós realizem cálculos complexos para garantir a segurança da rede.

2.3 TECNOLOGIAS ADOTADAS EM MEIOS DE PAGAMENTO

Como parte do desenvolvimento econômico mundial, o comércio entre países recebe grande atenção entre todas as partes, destacando-se o modelo de liquidação de pagamentos. As tecnologias adotadas como meio de pagamento vêm passando por um processo de evolução tecnológica nos últimos anos, passando do dinheiro físico para cartões de crédito e, mais recentemente, os meios de pagamento digitais. Essas mudanças tecnológicas, de acordo com Leão e Sotto (2019) propiciaram considerável relevância para a consolidação e crescimento das compras e vendas online.

Os cartões de crédito e débito funcionam como um meio de pagamento eletrônico que permite aos consumidores fazer o pagamento de suas compras tanto em estabelecimentos

comerciais físicos quanto online. Além disso, muitos cartões também oferecem benefícios como pontos e milhas, além de programas de recompensas. Segundo Zanardi, Dos Santos e Silva (2022), os cartões de crédito e débito ainda são uma das tecnologias mais utilizadas como meio de pagamento. De acordo com Leão e Sotto (2019), os cartões de crédito e débito oferecem vantagens como a segurança das transações, a praticidade e conforto.

Os pagamentos móveis estão se tornando cada vez mais populares, permitindo que os consumidores paguem por bens e serviços usando seus dispositivos móveis (Nassar e Vieira, 2009). Esta tecnologia permite que as transações sejam realizadas por meio de dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*, sendo uma alternativa segura e conveniente aos meios de pagamento tradicionais, além de permitirem a integração de diferentes serviços financeiros em um único aplicativo.

No Brasil, para Santos e Santos (2023), o aumento no uso de pagamentos por aproximação com tecnologia NFC e pagamentos instantâneos com PIX é impulsionado pela busca por comodidade, agilidade e segurança por parte dos consumidores, além do investimento em tecnologia por parte do BACEN, empresas emissoras de cartões e empresas credenciadoras. Essa expansão também é impulsionada pelo crescimento de novas formas de pagamento durante a pandemia da COVID-19, que permitem concluir transações sem contato físico com maquininhas ou comerciantes.

Além disso, o PIX está disponível para pessoas físicas e jurídicas, e pode ser realizado por meio de aplicativos de instituições financeiras e de pagamento autorizadas pelo Banco Central do Brasil. Conforme Ferreira (2022), esta modalidade de pagamento foi a mais utilizada no país em 2021.

3. MÉTODO DA PESQUISA

O presente estudo teve como objetivo geral verificar o consumo energético entre algumas redes disponíveis de *smart contracts*, em comparação com a rede Visa em uma arquitetura clássica, com foco em verificar a questão da eficiência energética das transações de cada uma das redes.

Quanto aos tipos de pesquisa, com relação a sua natureza, ela pode ser classificada como sendo aplicada porque objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos.

Ao analisar o seu objetivo, a pesquisa pode ser considerada como descritiva porque tentou registrar e descrever os fatos observados com relação ao consumo energético de diferentes plataformas de liquidação financeira (Gil, 2022).

Em relação aos procedimentos técnicos, ou seja, a maneira pela qual obtemos os dados necessários para a elaboração da pesquisa, foi verificado que seria necessário buscar um modelo conceitual e operativo dessa temática. Foram pesquisadas sistemáticas de cálculos de consumos dessas redes e suas fórmulas foram apresentadas no decorrer da análise e discussão dos resultados (Gil, 2022).

Foi realizado um referencial teórico com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com os principais materiais escritos sobre o assunto da pesquisa.

E por fim do ponto de vista da forma de abordagem do problema, a pesquisa, por apresentar cálculo de desempenhos das redes e técnicas estatísticas, foi elaborada como sendo quantitativa porque considera que há uma relação dinâmica entre o mundo real e os resultados teóricos verificados, pois a decisão de uso destas redes pode estar relacionada às questões proposta neste trabalho (Gil, 2022).

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados foram obtidos por meio de publicação das principais plataformas de monitoramento das redes de *blockchain* e Hashgraph, bem como relatórios corporativos dos fornecedores de tecnologias de meios de pagamento. Os dados estão públicos e disponíveis para consulta por meio de suas devidas referências.

O presente trabalho reúne, apresenta e compara os resultados de uma transação financeira hipotética - tx que opera sobre o protocolo PoW utilizado pela rede Bitcoin, sobre a rede Hashgraph fornecida pela Hedera e a operação Visa que utiliza arquitetura clássica.

4.1 ANÁLISE DA REDE HEDERA HASHGRAPH

Hedera Hashgraph é uma plataforma de Tecnologia de Contabilidade Distribuída - DLT, que se baseia no algoritmo de consenso Hashgraph, desenvolvido por Leemon Baird (Baird, Harmon e Madsen, 2020). A plataforma adota um modelo de trabalho que visa calcular uma ordem justa de transações em um ambiente descentralizado, garantindo a integridade das transações e alcançando o consenso por meio do protocolo "Gossip about Gossip" e votação

virtual, também não existem líderes no consenso, impedindo que um pequeno grupo de nós influenciar indevidamente a ordem do consenso (Baird, Harmon e Madsen, 2020).

Uma das principais vantagens desenvolvidas para a rede é que seu modelo de consenso permite que processe um grande número de transações por segundo, com latência mínima, segundo Baird, Harmon e Madsen (2020). Essa capacidade de processamento rápido é eficiente para aplicativos e casos de uso que exigem alto desempenho e tempos de resposta rápidos, além disso, o uso de nós para validação das transações em vez de mineradores concorrendo pela resolução de blocos, leva a rede a consumir menos energia em comparação com outras redes baseadas em prova de trabalho (Baird, Harmon e Madsen, 2020).

Para a análise do Consumo Energético por Transação - $f_{c_{tx}}$, consideramos um servidor especificado na documentação técnica de implantação da rede Hedera Hashgraph (2022), o servidor Dell PowerEdge R740XD (Hedera Hashgraph, 2022), consumindo 80% de capacidade como uma margem de segurança, tempos uma potência média de 1.280 W. Em uma evolução da rede, em relação aos dados coletados por Platt *et al.* (2021), a mesma passou a contar com 28 nós de processamento no início do mês de maio de 2023, segundo o domínio Hashscan, utilizada para monitoria da rede, ante 21 descrito por Platt *et al.* (2021) em 2021. Passou-se a observar então a capacidade da rede de processamento em Transações por Segundo - TPS, operando em uma média do mês de maio de 2023 em 849,88 TPS, 173.520 transações por hora - tx h, segundo o portal Metrika (s. d.) e com capacidade superior a 10.000 TPS, segundo Platt *et al.* (2021).

Quadro I
Dados Hedera Hashgraph

Métrica	Origem	Período Observado	Valor
Potência do Servidor	https://i.dell.com/sites/csdocuments/Product_Docs/pt/br/poweredge-r740xd-specsheet.pdf	março 2018	1.280 W
Nós de Processamento	https://hashscan.io/mainnet/nodes	01/05/2023	28
TPS	https://app.metrika.co/hedera/dashboard/network-overview?tr=3M	maio 2023	173.520 tx h

Figura 1. Dados Rede Hedera Hashgraph
Fonte: Elaborado Pelo Autor

Dado o modelo privado da rede Hedera, não variando a quantidade de nós conforme a demanda da rede e possuindo uma quantidade linear de nós durante o período observado, podemos utilizar uma correlação simples entre as variáveis, simplificando a equação (1), modelamos a função do custo energético por transação, em função do número de nós n_{val} , consumo energético de cada nó ρ e a quantidade de transações n , utilizada por Platt *et al.* (2021).

$$f_{c_{tx}} = \frac{n_{val} * \rho}{n} \quad (1)$$

Substituindo os valores obtidos nas plataformas de monitoria e testes de hardware em (1), obtemos então um consumo de 0,2065 W h/tx.

4.2 ANÁLISE DA REDE BITCOIN

A proposta pioneira de transferir e armazenar recursos de forma descentralizada, transparente e segura, sem a necessidade de intermediários ou um órgão regulador, foi idealizada por um indivíduo ou grupo sob o pseudônimo de Satoshi Nakamoto (s. d.). Essa inovação revolucionária serviu como base para o desenvolvimento do Bitcoin, o qual, impulsionado pela tecnologia *blockchain*, oferece uma alternativa para o sistema financeiro tradicional, permitindo transações diretas e confiáveis entre os usuários (Francisquini, Jacob e Pinto, 2019).

Um dos aspectos distintivos do Bitcoin é o processo de mineração, em que os mineradores competem entre si para resolver algoritmos complexos e validar as transações e esta competição requer um alto consumo de energia, uma vez que os mineradores dedicam recursos computacionais significativos (Digiconomist, s. d.).

A rede Bitcoin é conhecida por sua natureza descentralizada, o que significa que nenhum órgão central tem controle sobre ela, que por sua vez, oferece maior autonomia aos usuários e evita a interferência de terceiros, como instituições financeiras ou governos. No entanto, a rede Bitcoin enfrenta desafios em relação à escalabilidade, uma vez que a capacidade de processamento de transações é limitada (Digiconomist, s. d.).

Apesar da dificuldade em obter valores exatos, é possível obter uma aproximação de seu consumo energético por transação, iniciando por meio do Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index - CBECI (s. d.), lançado em 2019, é possível obter informações confiáveis sobre o crescente consumo de eletricidade da rede Bitcoin. Por meio da plataforma, com dados

coletados em 01 de maio de 2023, pode-se notar um consumo estimado médio de 126,55 TWh .

Outra plataforma de grande interesse, a Glass Node Studio, amplamente utilizada pela comunidade Finanças Descentralizadas - DeFi, obtemos os valores no dia 01 de maio de 2023, o tamanho médio de um bloco Bitcoin é de aproximadamente 1,664 Mb, cada transação possui um tamanho médio de 443,9 Bytes e o tempo médio de resolução de um bloco é de 476,32 segundo. De posse desses dados, pode-se calcular por meio de equação (2), elaborada por Pradhan *et al.* (2022) e adaptada pelo autor, o TPS da rede.

$$TPS = \frac{\left(\frac{\text{Tamanho médio de um Bloco}}{\text{Tamanho médio de uma transação}} \right)}{\text{Tempo médio de resolução de um bloco}} \quad (2)$$

Por meio da equação (2), chegamos a uma taxa de 8,2522 TPS, 29.707,88 tx h. De posse das transações por hora, o consumo estimado da rede em uma hora, utilizando o conceito de (1), entre o consumo de energia, resultante do número de nós multiplicado pelo consumo de cada nó, já calculado pelo portal CBECEI (s. d.), em um período sobre a quantidade de transações no mesmo período, resulta em um consumo de 4.259 MW h/tx.

Quadro II
Dados Rede PoW Bitcoin

Métrica	Origem	Período Observado	Valor
Consumo Energético	https://cbeci.org/	01/05/2023	126,55 TW h
Tamanho Médio de Um Bloco Bitcoin	https://studio.glassnode.com/metrics?a=BTC&category=&m=blockchain.BlockSizeMean&s=1682035200&u=1682996399&zoom=	01/05/2023	1,664 Mb
Tamanho Médio de Uma Transação	https://studio.glassnode.com/metrics?a=BTC&category=&m=transactions.SizeMean&s=1682035200&u=1682996399&zoom=	01/05/2023	443,9 Bytes

Tempo Médio de Resolução de Um Bloco	https://studio.glassnode.com/metrics?a=BTC&category=Miners&m=blockchain.BlockIntervalMean&s=1682035200&u=1682996399&zoom=	01/05/2023	476,32 Segundo
--------------------------------------	---	------------	----------------

Figura 2. Dados Rede PoW Bitcoin
Fonte: Elaborado Pelo Autor

4.3 REDE VISA

A rede Visa, por sua vez, é uma empresa privada que opera uma das maiores redes de pagamento do mundo. Ao contrário das redes baseadas em *blockchain*, como o Bitcoin e o Hashgraph da rede Hedera, a Visa utiliza uma infraestrutura centralizada (Visa, 2022).

A tecnologia adotada é conhecida como EMV (Europay, Mastercard e Visa), que é um padrão global para cartões de pagamento com chip que armazena informações criptografadas e realiza autenticação segura durante as transações. Essa tecnologia oferece vantagens significativas em termos de segurança, pois os dados do cartão são protegidos por criptografia avançada e são difíceis de serem duplicados ou falsificados. Além disso, durante a transação, um código dinâmico é gerado pelo chip do cartão, tornando cada transação única e reduzindo o risco de fraude (Gray e Ladig, 2015).

Além dos cartões físicos, a Visa também tem se adaptado às tecnologias de pagamento digital, como os pagamentos por aproximação (*contactless*) e os pagamentos móveis. Essas inovações permitem que os consumidores realizem transações sem a necessidade de inserir fisicamente o cartão em uma máquina de pagamento, aumentando a conveniência e agilidade (Visa, 2022).

Em se tratando de uma empresa privada, não é possível utilizar plataformas como Glass Node Studio, Metrika ou CBEI, mas pode-se obter os dados necessários em seu relatório anual de resultados financeiros, Environmental, Social & Governance Report Visa FY22.

Em o presente relatório, podemos obter os dados de que a empresa consumiu 747.000 Gigajoules (GJ), 85,27 GW h, em suas operações e realizou 193 bilhões de transações, em 12 meses com data de corte em agosto de 2022 (Visa, 2022).

Quadro III
Dados Visa

Métrica	Origem	Período Observado	Valor
Consumo Energético	https://usa.visa.com/content/dam/VCOM/regional/na/us/about-visa/documents/2022-environmental-social-governance-report.pdf	Ago 2021 - Ago 2022	747.000 GJ
Transações	https://usa.visa.com/content/dam/VCOM/regional/na/us/about-visa/documents/2022-environmental-social-governance-report.pdf	Ago 2021 - Ago 2022	193 Bilhões

Figura 3. Dados Rede Visa
Fonte: Elaborado Pelo Autor

Aplicando os dados em (1), onde temos o total de energia consumido sobre o total de transações, obtemos um consumo de 0,44 W h/tx.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sobre a análise do consumo energético por transação dos sistemas Hedera Hashgraph, PoW Bitcoin e rede Visa, pode-se observar diferenças significativas em consumo, tendo em vista os modelos de processamento de dados adotados por cada uma delas.

A plataforma Hedera Hashgraph se destaca por sua abordagem em relação à plataforma *Proof-of-Work* do Bitcoin, por eliminar a competição entre mineradores por blocos, resultando em uma correlação mais direta entre a capacidade da rede e o consumo de energia, tornando-a uma opção mais sustentável (Baird, Harmon e Madsen, 2020). Cabendo uma futura análise do algoritmo Hashgraph em um momento que a rede passe a se tornar pública, operando com nós descentralizados.

No caso do Bitcoin, a arquitetura da rede *Proof-of-Work* é baseada em um modelo descentralizado, onde os participantes da rede, conhecidos como mineradores, competem entre si para resolver problemas criptográficos complexos (Digiconomist, s. d.). Essa arquitetura tem garantido a segurança e a integridade da rede, tornando difícil para um ator malicioso adulterar transações passadas. No entanto, a arquitetura PoW do Bitcoin é conhecida por seu alto

consumo energético, requerendo uma quantidade significativa de poder computacional e, conseqüentemente, eletricidade.

O consumo energético do Bitcoin é muitas vezes motivo de preocupação devido ao impacto ambiental associado, quando consome eletricidade proveniente de fontes de energia, como carvão e gás natural, que geram um alto custo ambiental (Digiconomist, s. d.). No entanto, é importante ressaltar que a rede está em constante evolução e existem esforços para tornar seu consumo energético mais eficiente. Além disso, há iniciativas em andamento para buscar fontes de energia renovável para a mineração de Bitcoin, reduzindo assim seu impacto ambiental.

A arquitetura da rede Visa de transações é baseada em um sistema centralizado, onde as transações são processadas por um conjunto de *data centers* altamente sofisticados e interconectados em todo o mundo. Essa arquitetura permite uma ampla escalabilidade e capacidade de processamento para lidar com um grande volume de transações em tempo real (Visa, 2022).

Em relação ao consumo energético, é importante considerar que a infraestrutura necessária para suportar uma rede de transações global em grande escala requer um consumo significativo de energia dos *data centers* que alimentam a rede Visa. Essa energia é utilizada para manter os servidores, sistemas de resfriamento e outros componentes em funcionamento, além de garantir a segurança e a disponibilidade da rede (Visa, 2022).

No entanto, é importante destacar que a arquitetura centralizada da rede Visa pode permitir uma maior otimização energética em comparação com as redes descentralizadas, como o Bitcoin. Os *data centers* podem ser projetados para maximizar a eficiência energética e utilizar tecnologias avançadas, como resfriamento líquido e energia renovável, para reduzir o consumo geral de fontes de energia com base em fontes não renováveis.

Sobre comparar a eficiência energética dos sistemas Hashgraph, PoW Bitcoin e rede Visa, a tabela IV apresenta os resultados das três plataformas analisadas, apresentando o consumo energético médio no período observado. A partir dos dados, fica evidente o avanço tecnológico que as redes de *smart contracts* tiveram nos últimos anos, apresentando uma redução significativa em consumo energético quando comparamos o consumo da rede Bitcoin, que esteve na vanguarda do movimento de criptoativos no mundo e hoje ainda é a mais difundida, em relação ao algoritmo Hashgraph, mais recente e que nasce com uma proposta muito presente de redução de consumo energético. A plataforma Visa, por sua vez, ainda se mantém em uma estrutura clássica de infraestrutura de rede, o que tem garantido segurança

para suas transações pelo mundo, mas de maneira evidente, o algoritmo Hashgraph se apresenta como um possível caso de estudo para uma evolução da plataforma Visa.

Quadro IV
Consumo Energético por Transação das Plataformas Analisada

Plataforma	Período Observado	Consumo Por Transação (W h/tx)
Hedera Hashgraph	maio 2023	0,2065
Bitcoin	01/05/2023	4.259.806.812
Visa	Agosto 2021 - Agosto 2022	0,44

Figura 4. Consumo Energético por Transação das Plataformas Analisada
Fonte: Elaborado Pelo Autor

Cabe destacar que para uma real alteração tecnológica em plataformas tradicionais de meios de pagamento, devemos observar para além do consumo energético, passando por métricas de segurança, tempo de resposta para efetivação da liquidação financeira e capacidade de processamento por exemplo e até mesmo podemos considerar a maturidade das plataformas de *smart contracts* para operarem em setores clássicos que garantem a estabilidade financeira do mundo.

Os resultados apresentam vantagem para os sistemas de *Distributed Ledger Technology* - DLT baseados em mecanismos de consenso, quando comparamos tecnologias como Visa e Hashgraph, reforçam também o avanço da evolução da própria tecnologia, quando comparamos os resultados de tecnologias como PoW Bitcoin e Hashgraph, demonstrando que há caminhos a serem explorados sobre a eficiência dos algoritmos de *smart contracts* e seus objetivos.

Modelos como PoW Bitcoin e seu processo descentralizado de transações e melhorias de código, com uma comunidade ativa e interessada, nasceram e garantiram um amplo mercado para a *blockchain*, democratizaram o acesso e permitiram a evolução da tecnologia. Hedera Hashgraph por outro lado, se apresenta como uma possível evolução tecnológica para as liquidações financeiras.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo central verificar o consumo energético entre redes disponíveis de *smart contracts* e um modelo clássico de rede, no caso, a plataforma Visa, para a liquidação de uma operação financeira. Foi possível atingir o objetivo central no decorrer

do artigo, sendo realizada a análise individual de cada plataforma e também sua comparação, apresentando também um pouco mais sobre como cada rede opera suas transações.

Foram detalhados as análises do consumo energético por liquidação financeira nas redes Hedera Hashgraph, Bitcoin e Visa revelando diferenças significativas nos modelos de processamento de dados adotados por cada uma delas.

A Hedera Hashgraph se destacando por sua abordagem inovadora, eliminando a competição entre mineradores por blocos por meio do uso de seus próprios nós para validar transações, resultando em uma correlação mais direta entre a capacidade da rede e o consumo de energia, tornando-a uma opção eficiente e sustentável.

O Bitcoin, baseado no sistema de prova de trabalho, conhecido por seu alto consumo energético, ainda é motivo de preocupação devido ao impacto ambiental. Sua rede ainda está em constante evolução e há esforços para tornar seu consumo mais eficiente, como a adoção de algoritmos de consenso alternativos e a busca por fontes de energia renovável.

A rede Visa, por sua vez, utiliza uma infraestrutura centralizada e um sistema de processamento de transações baseado em cartões. Embora exija um consumo significativo de energia para manter seus *data centers*, a arquitetura centralizada pode permitir uma maior otimização energética em comparação com as redes descentralizadas.

Em conclusão, a análise comparativa do consumo energético por transação nas redes Hedera Hashgraph, Bitcoin e Visa demonstra a importância de considerar os diferentes modelos de processamento de dados e arquiteturas de rede ao avaliar o consumo energético. Cada rede possui suas vantagens e desafios, e o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis é fundamental para o futuro das criptomoedas e sistemas de pagamento.

Se faz importante avançarmos em estudos e métricas para os setores de liquidação financeira, alimentando a literatura, de forma a ampliar o debate entre iniciativa privada, governo e população sobre para onde queremos ir em um cenário de matriz energética renovável. Os dados colhidos para o presente estudo, por vezes, são aproximações de uma realidade, podendo apresentar uma margem de erro quando ao fato em si, essas lacunas poderiam ser sanadas com maior transparência ou mesmo relatórios de auditorias independentes para as plataformas analisadas.

6. REFERÊNCIAS

AGUIAR, E. A. F. **Blockchain**: Juridicidade dos smart contracts. Faculdades Doctum de Guarapari, Guarapari, 2019.

ALVES, M. F. Criptomoedas: Um “vilão” ambiental. **Inovation Juris: Inovation Juris Journal**, v. 1, n. 1, p. 37-49, 2022. Disponível em: <http://inovatiojuris.com.br/index.php/home/article/view/10>. Acesso em: 31 maio. 2023.

BAIRD, L. The Swirls hashgraph consensus algorithm: Fair, fast, byzantine fault tolerance. **Swirls Tech Reports** SWIRLDS-TR-2016-01, v. 34, p. 9-11, 2016. Disponível em: <https://www.swirls.com/downloads/SWIRLDS-TR-2016-01.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2023.

BAIRD, L.; HARMON, M.; MADSEN, P. Hedera: A public hashgraph network & governing council. **White Paper**, v. 2.1, 2020.

CAMBRIDGE CENTRE FOR ALTERNATIVE FINANCE (CCAF). Cambridge bitcoin electricity consumption index (CBECI), s. d. Disponível em: <https://ccaf.io/cbnsi/cbeci>. Acesso em: 01 mai. 2023.

DIGICONOMIST. **Bitcoin energy consumption index**, s. d. Disponível em: <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption>. Acesso em: 27 jun. 2023.

DIVINO, S. B. S. Smart contracts: conceitos, limitações, aplicabilidade e desafios. **RJLB - Revista Jurídica Luso-Brasileira**, v. 4, p. 2771-2808, 2018.

ESTELLITA, H. Criptomoedas e lavagem de dinheiro. **Revista Direito GV**, v. 16, p. 01-13, 2020.

FERREIRA, A. R. Arranjo Pix: regulação e concorrência em pagamentos digitais. **Revista da PGBC**, v. 16, n. 1, p. 100-113, Jun. 2022.

FILHO, A. P. S.; NETO, H. C.; ANDRADE, M. A. S.; OLIVEIRA, T. C.L. Mineração de criptomoedas utilizando energias renováveis. **II Simpósio de pós graduação em engenharia mecânica da Universidade Federal de Campina Grande** - coletânea de artigos. Campina Grande: Poisson, p. 8-18, 2018.

FRANCISQUINI, V.; JACOB, K.; PINTO, F. Bitcoin: Histórico, comercialização e legislação. **Revista Científica E-Locução**, v. 1, n. 16, 2019. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucão/article/view/217/169>. Acesso em: 27 jun. 2023.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Barueri: Grupo GEN, 2022. E-book. ISBN 9786559771653. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559771653/>. Acesso em: 29 jun. 2023.

Glass Node Studio. **Bitcoin: Mean Block Interval**, s. d. Disponível em: <https://studio.glassnode.com/metrics?a=BTC&category=Miners&m=blockchain.BlockIntervalMean&zoom=all>. Acesso em: 01 mai. 2023.

Glass Node Studio. **Bitcoin: Mean Block Size**, s. d. Disponível em: <https://studio.glassnode.com/metrics?a=BTC&category=&m=blockchain.BlockSizeMean&zoom=all>. Acesso em: 01 mai. 2023.

Glass Node Studio. **Bitcoin: Mean Size of Transfers**, s. d. Disponível em: <https://studio.glassnode.com/metrics?a=BTC&category=&m=transactions.SizeMean&zoom=all>. Acesso em: 01 mai. 2023.

Gray, D.; Ladig, J. The implementation of EMV chip card technology to improve cyber security accelerates in the US following target corporation's data breach. **International Journal of Business Administration**, v. 6, n. 2, 2015.

HASH SCAN. **Network**, s.d. Disponível em: <https://hashscan.io/mainnet/nodes>. Acesso em: 05 mai. 2023.

HEDERA HASHGRAPH. **Reference Configuration**: Example configurations from Dell and Thinkmate, 2022. Disponível em: <https://docs.hedera.com/hedera/networks/mainnet/mainnet-nodes/node-requirements/reference-configuration>. Acesso em: 05 mai. 2023.

JOHNSON, L. et al. A Renewable Energy Powered Trustless Value Transfer Network: Connecting the Blockchain to the Sun to Save the Planet. SSRN 2702639. **Social Science Research Network**, 2015.

LAMPORT, L.; SHOSTAK, R.; PEASE, M.. The Byzantine generals problem. In: *Concurrency: the works of Leslie Lamport*. New York: **Association for Computing Machinery**, 2019. p. 203-226.

LEÃO, L. B.; SOTTO, E. C. S. A evolução dos meios de pagamento. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 1, p. 221–232, 2019. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/610>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LISBOA, Alan. et al. Governança para Interoperabilidade entre Redes Blockchain. **Revista do Laboratório de Inovações Financeiras e Tecnológicas**, v.2, n.1, Lift Papers, 2020. Disponível em: <https://revista.liftlab.com.br/lift/article/download/47/39>. Acesso em: 27 jun. 2023.

LISKOV, B.; COWLING, J. Viewstamped replication revisited. Tech. **MIT Computer Science and Artificial Intelligence Laboratory**. Rep. MIT-CSAIL-TR-2012-021, 2012. Disponível em: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/71763/MIT-CSAIL-TR-2012-021.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2023.

METRIKA. **Network Overview Dashboard, Throughput by service and aggregated network-wide transactions per second (TPS)**. s.d. Disponível em: <https://app.metrika.co/hedera/dashboard/network-overview?tr=3M>. Acesso em: 05 jun. 2023.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**, s. d. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2023

NARAYANAN, A. et al. **Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction**. Princeton: Princeton University Press, 2016.

NASSAR, V.; Vieira, M. L. Método de pesquisa para análise da experiência dos usuários com a tecnologia NFC (Near Field Communication). In: V Congresso Internacional de Design de Interação, 2013, Recife. **Anais do V Interaction South America**. Recife: Interaction 2013, 2013. v. 1. p. 98-102.

O'SHIELDS, R. **Smart contracts: Legal agreements for the blockchain**. North Carolina: North Carolina Banking Institute, v. 21, p. 177, 2017.

Platt, M.; Sedlmeir, J.; Platt, D.; Tasca, P.; Xu, J.; Vadgama, N.; Ibanez, J. I. **The Energy Footprint of Blockchain Consensus Mechanisms Beyond Proof-of-Work**, 2022. arXiv preprint arXiv:2109.03667. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2109.03667.pdf>. Acesso em: 01 abr. 2023.

PRADHAN, N. R.; SINGH, A. P.; VERMA, S.; KAVITA; WOZNIAK, M.; Ijaz, M. F. A blockchain based lightweight peer-to-peer energy trading framework for secured high throughput micro-transactions. **Scientific Reports**. 25 Ago. 2022. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9723104/pdf/41598_2022_Article_25504.pdf. Acesso em: 01 mai. 2023.

PRUSTY, A. Blockchain Scalability: An Overview of Current State-of-the-Art Solutions. In: **IEEE 19th International Conference on Smart Technologies**, 2021. p. 185-194.

SANTOS, F. R. dos; SANTOS, F. C. A. S. dos. Consumo, crédito e cotidiano: Pagamentos instantâneos (PIX) e por aproximação e novas práticas de gestão da renda no Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 24, n. 93, p. 18–35, 2023. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/65642>. Acesso em: 29 jun. 2023.

STANDARD PERFORMANCE EVALUATION CORPORATION. **SPECpower_ssj2008**. Houston, 02 abr. 2019. Disponível em: https://www.spec.org/power_ssj2008/results/res2019q2/power_ssj2008-20190312-00899.html. Acesso em: 05 mai. 2023.

SZABO, N. **Formalizing and Securing Relationships on Public Networks**. First Monday, v. 2, n. 9 – 1, set. 1997. Disponível em: <https://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/548/469>. Acesso em: 15 abr. 2023

TEIXEIRA, T; RODRIGUES, C. A.. **Blockchain e criptomoedas: aspectos jurídicos**. 4. ed. Salvador: JusPoivm, 2022.

TIAN, Y. et al. Towards Inclusive and Sustainable Infrastructure Development through Blockchain-enabled Asset Tokenization: An Exploratory Case Study. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 2022. p. 012040. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1218/1/012040/pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

VISA. **Environmental, Social & Governance Report, 2022**. Disponível em: <https://usa.visa.com/content/dam/VCOM/regional/na/us/about-visa/documents/2022-environmental-social-governance-report.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2023.

VRIES, A. **Bitcoin's growing energy problem**. Joule, v. 2, n. 5, p. 801-805, 2018.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Digital Assets, Distributed Ledger Technology and the Future of Capital Markets**. Geneva, 2021. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Digital_Assets_Distributed_Ledger_Technology_2021.pdf. Acesso em: 27 jun. 2023.

ZANARDI, C. S.; DOS SANTOS, J. L. S.; DA SILVA, R. M. Aceitação dos consumidores do uso do celular compatível com tecnologia NFC para pagamentos. **Revista Científica e-Locução**, v. 1, n. 21, p. 32, 2022.. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucão/article/view/455/302>. Acesso em: 27 jun. 2023.

Zou, W.; Lo, D.; Kochhar, P. S.; Le, X. B. D.; Xia, X.; Feng, Y.; Chen, Z.; Xu, B. Smart contract development: Challenges and opportunities. **IEEE Security & Privacy**, v. 19, n. 1, p. 88-96, 2021.