

A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN COMO VIA DE FACILITAÇÃO DAS EXPORTAÇÕES

Data de aceite: 01/04/2024

Daiane Rodrigues dos Santos

RESUMO: A importância das tecnologias disruptivas no aprimoramento e eficiência do comércio internacional será um fator de destaque nas próximas décadas, e a tecnologia blockchain emerge como uma das mais promissoras neste contexto. O artigo versou sobre o papel da tecnologia blockchain nas operações de exportação e destaca sua capacidade de reconfigurar os paradigmas operacionais convencionais promovendo confiabilidade, eficiência e transparência. O estudo abrange a análise dos impactos benéficos do blockchain, especialmente em termos de rastreabilidade, implementação de contratos inteligentes, otimização de custos e eliminação de intermediários, enfatizando os benefícios substanciais para empresas, entidades governamentais e consumidores em uma economia global cada vez mais interconectada. Examinou-se o papel das principais corporações, como a Microsoft e a IBM, que oferecem Blockchain como serviço (BaaS), facilitando a digitalização do fluxo de trabalho das empresas por meio de plataformas seguras e transparentes. A

pesquisa destacou também a necessidade de uma abordagem estratégica para superar os obstáculos culturais, regulamentares e operacionais na internacionalização das empresas por meio do blockchain. A implementação de contratos inteligentes e a importância da análise criteriosa dos custos associados à sua adoção também é um tema inerente ao presente estudo. O estudo conclui que a tecnologia blockchain detém um potencial significativo, promovendo uma evolução paradigmática no domínio empresarial, particularmente nas operações de exportação, e fomenta a cooperação na cadeia de suprimentos, configurando-se como uma inovação para o comércio internacional.

PALAVRAS-CHAVE: Exportação, Blockchain, Comércio, Tecnologia disruptiva.

INTRODUÇÃO

A ascendência da tecnologia blockchain delineia uma revolução de magnitude substancial no âmbito empresarial, apresentando inovações robustas para desafios intrincados. No domínio das exportações, o blockchain surge como agente transformador,

instigando uma reconfiguração essencial nos protocolos de gestão e transporte de produtos à escala global. Esta tecnologia, segura e descentralizada, inaugura uma nova era pautada por transparência, eficiência e confiabilidade, redefinindo os paradigmas operacionais tradicionais. Aprimoramentos na rastreabilidade, implementação de contratos autômatos, otimização de custos e a supressão de intermediários consolidam o blockchain como uma ferramenta facilitadora de magnitude expressiva nas operações de exportação. Este escrito empreenderá uma análise detalhada dos impactos benéficos do blockchain na simplificação de transações, enfatizando seus benefícios substanciais para empresas, entidades governamentais e consumidores, inseridos em uma economia crescentemente interligada.

O Blockchain está em evidência na última década, com a Microsoft e a IBM oferecendo Blockchain como serviço (BaaS). O blockchain da IBM capacita as empresas a construir redes blockchain seguras, digitalizando o fluxo de trabalho por meio de uma plataforma segura e transparente. O Microsoft Azure oferece BaaS para permitir que as organizações colaborem e desenvolvam, testem e implantem aplicativos blockchain.

O presente artigo aborda a tecnologia blockchain, cujo papel transcende a mera simplificação de transações, estendendo-se a uma instância fundamental de reforço da integridade da cadeia de suprimentos global. Este estudo visa investigar minuciosamente os efeitos positivos que o blockchain incita na facilitação das exportações, ressaltando seus benefícios imperativos para atores chave, a saber, empresas, entidades governamentais e consumidores, em um contexto econômico caracterizado por uma crescente interconexão.

A tecnologia blockchain pode oferecer várias vantagens para empresas que buscam internacionalizar suas operações, elevar, ou intensificar, o volume das exportações, a penetração em novos mercados, a consolidação em mercados já explorados. De acordo com Ganne (2018), as tecnologias de informação e comunicação revolucionaram a produção, a digitalização das transações comerciais ainda enfrenta obstáculos, principalmente devido à dependência do papel em procedimentos de comércio. A tecnologia em questão tem um potencial transformador, e é crescente a adoção da tecnologia em comércio internacional. Para o autor a blockchain pode impactar desde o financiamento comercial até os procedimentos aduaneiros e a propriedade intelectual. A natureza transparente, descentralizada e imutável da blockchain despertou o interesse de entidades privadas - e governos - para explorar o potencial dessa tecnologia no aprimoramento da eficiência dos processos comerciais. Com ela é possível tornar as transações Internacionais mais rápidas e eficientes, por exemplo. Pois permite simplificar e acelerar o processo de transações internacionais, eliminando intermediários e reduzindo os tempos de liquidação e consolidação de uma operação de venda e compra de mercadorias e ou serviços.

A superação de obstáculos culturais, regulamentares e operacionais na internacionalização de empresas requer uma abordagem estratégica. A empresa que deseja melhorar seu processo de internacionalização incorporando tecnologias inovadoras,

como a blockchain, deve primeiro identificar mercados-alvo, analisando demanda, regulamentos locais e concorrência. As parcerias estratégicas com empresas locais podem ser registradas como contratos inteligentes na blockchain, o que permite transparência e execução automatizada dos termos acordados.

A implementação de contratos inteligentes como uma inovação tecnológica de destaque na esfera da blockchain requer investimento financeiro e de tempo das empresas envolvidas. A estruturação desses contratos é realizada mediante a escolha criteriosa da plataforma blockchain, desenvolvimento em linguagens específicas como Solidity, compilação, e implantação após a análise meticulosa. A automação intrínseca dos contratos inteligentes, ativada por condições predefinidas, é de fato executada de forma automática após todo esse processo. Não obstante, a análise criteriosa dos custos associados, incluindo as taxas de transação e sua variação conforme a demanda na rede, proporciona uma compreensão abrangente do investimento necessário para a implementação dessas inovações. Essa exploração detalhada e embasada busca contribuir para a consolidação de conhecimentos na vanguarda da tecnologia blockchain.

Uma transformação paradigmática no domínio empresarial foi causada pela ascensão da tecnologia blockchain, que é segura, descentralizada e imutável (Dos Santos, 2023). Isso é especialmente evidente para os negócios internacionais, como por exemplo exportação e importação. Este estudo examina cuidadosamente todas as vantagens da tecnologia blockchain quando se trata de facilitar as exportações. Em particular, ele examina os aspectos essenciais de contratos inteligentes, autenticação e certificação, segurança contra fraudes, eficiência aduaneira, pagamentos internacionais, logística, gestão de estoque e fomento à cooperação na cadeia de suprimentos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Ganne (2018) em sua publicação pela World Trade Organization, apresentou uma análise detalhada do potencial do blockchain para redefinir as operações de comércio internacional. Esta pesquisa explorou a viabilidade do blockchain em aumentar a eficácia dos procedimentos aduaneiros, fornecendo uma visão abrangente de como a integridade do dado pode ser assegurada ao longo de toda a cadeia de suprimentos. O autor versou especificamente como os registros imutáveis do blockchain podem facilitar a verificação de conformidade com as regulamentações comerciais e padrões de qualidade, um aspecto crítico para as exportações internacionais que frequentemente envolvem múltiplas jurisdições e órgãos regulatórios.

No artigo publicado em 2019, McDaniel e Norberg consideraram as utilizações potenciais da tecnologia blockchain no comércio internacional, uma esfera onde as transações transfronteiriças apresentam desafios significativos que a blockchain poderia potencialmente mitigar. Três áreas principais foram exploradas: a facilitação do

financiamento do comércio, a melhoria dos procedimentos aduaneiros e o rastreamento da procedência dos bens. Revelou-se que setores públicos e privados estão conduzindo uma gama de casos de uso nessas esferas. Instituições financeiras experimentaram a blockchain para ampliar o acesso e reduzir os custos de financiamento do comércio. A indústria de navegação, colaborando com participantes da cadeia de suprimentos e oficiais aduaneiros, investigou como um registro digital distribuído poderia facilitar o movimento transparente de mercadorias através de fronteiras e mares. Empresas e varejistas exploraram métodos para rastrear suas próprias cadeias de suprimento, fornecendo informações aos consumidores que cada vez mais exigem tais dados. Enfatizou-se que os formuladores de políticas deveriam incentivar a cooperação contínua, discussões ampliadas e ainda mais tentativas e erros.

A tecnologia blockchain, ainda em sua infância inovadora, exige adaptabilidade, interoperabilidade e um ambiente político que acolha a experimentação para que a economia dos EUA possa realizar os benefícios potenciais dessa tecnologia no cenário do comércio internacional. A investigação feita pelos autores revelou a necessidade crescente de um quadro regulatório que se adapte à natureza única da blockchain e às suas aplicações no comércio internacional, enquanto simultaneamente protege contra os riscos inerentes e promove a confiança entre os atores do mercado.

No artigo de Chang, Chen e Wu (2019), foi explorado o potencial da tecnologia blockchain no contexto do comércio internacional, com foco específico na reengenharia do processo de carta de crédito. Os autores identificaram as ineficiências inerentes aos sistemas tradicionais de comércio, dominados por processos manuais e por uma cadeia de confiança fragmentada, que frequentemente resultavam em atrasos e aumentavam os riscos de fraude e erros. Para abordar estas questões, os autores propuseram um modelo de processo de negócios baseado em blockchain, destinado a simplificar e automatizar as transações comerciais internacionais. Este modelo foi concebido para proporcionar uma governança distribuída e criar um ambiente operacional mais ágil e seguro para todos os participantes do comércio internacional, incluindo importadores, exportadores, bancos negociadores, bancos consultivos e transportadores.

A metodologia adotada no estudo de Chang, Chen e Wu (2019) envolveu uma análise orientada a objetos e o uso da Linguagem de Modelagem Unificada (UML) para a criação de diagramas de caso de uso, que detalharam as interações e os requisitos funcionais do sistema proposto. Os autores desenvolveram um protótipo de sistema baseado em blockchain que integrou contratos inteligentes para automatizar os processos de troca de documentos, fluxo de caixa e logística, fundamentais para as operações de comércio internacional. Contratos inteligentes específicos, como o contrato inteligente de comércio (TSC), o contrato inteligente de carta de crédito (LCSC) e o contrato inteligente de logística (LSC), foram projetados para substituir a documentação tradicional em papel e facilitar a execução de negócios de maneira confiável e eficiente. Este avanço permitiu a redução

de custos operacionais e a diminuição dos tempos de processamento, ao mesmo tempo em que reforçou a segurança e a transparência das transações comerciais. Contudo, o artigo em questão também reconheceu limitações e desafios remanescentes associados à implementação da tecnologia blockchain, tais como as preocupações com a privacidade, a segurança dos dados, a velocidade das transações e a escalabilidade. Chang, Chen e Wu (2019) sugeriram que pesquisas futuras deveriam focar na validação empírica do modelo proposto e na extensão da aplicação da blockchain para outros instrumentos de pagamento e canais de financiamento no comércio internacional. Além disso, apontaram para a necessidade de combinar a blockchain com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a inteligência artificial (AI), para potencializar ainda mais a eficiência dos processos de comércio internacional.

A implementação da tecnologia blockchain foi investigada por Koh, Dolgui e Sarkis (2020) com uma lente específica sobre os setores de transporte e logística. O estudo revelou que a adoção da blockchain, além de suas aplicações iniciais no setor financeiro, representou uma inovação disruptiva, promovendo uma gestão de dados e processos de negócios mais eficiente e transparente. A pesquisa destacou como essa tecnologia emergente facilitou a administração de fluxos de carga e passageiros, especialmente em contextos transfronteiriços. A blockchain foi identificada como uma ferramenta potente para aumentar a transparência e a confiança entre as partes envolvidas, simplificando o cumprimento dos regulamentos aduaneiros e garantindo a autenticidade das transações de mercadorias e serviços.

Em continuidade, Koh, Dolgui e Sarkis (2020) discutiram as propriedades revolucionárias da blockchain, como sua natureza “sem confiança”, que permite transações seguras e confiáveis sem a necessidade de intermediários tradicionais. Através de protocolos meticulosos, a blockchain estabeleceu um registro autoritativo e inalterável de transações, considerado um “único registro da verdade”. Este aspecto foi de suma importância para construir confiança em sistemas de logística e transporte cada vez mais complexos. Entretanto, os autores reconheceram os desafios enfrentados pela adoção da blockchain, tais como questões de escalabilidade, integração com sistemas legados e a necessidade de adaptação gerencial em um ambiente interorganizacional. Eles concluíram que pesquisas futuras deveriam focar em desvendar como o aumento da transparência e eficiência operacional pode ser equilibrado com os riscos de perda de renda informacional para organizações que se beneficiam da assimetria de informações existente.

Belu (2020), em seu artigo examinou a tecnologia blockchain e sua aplicação nos procedimentos aduaneiros, destacando-se a sua potencialidade em revolucionar as transações comerciais internacionais. A investigação concentrou-se nos benefícios substantivos da adoção da blockchain, particularmente na agilização do despacho aduaneiro de mercadorias, na gestão de riscos aduaneiros e na verificação em tempo real de aspectos quantitativos, qualitativos e de origem das mercadorias. Foi enfatizada a forma

como a blockchain pode oferecer uma solução robusta para os desafios enfrentados pelas cadeias de suprimento globais, especialmente em tempos de crise sanitária, ao promover a rastreabilidade dos eventos e a investigação de incidentes, bem como ao assegurar a integridade da carga e a confiança das partes envolvidas no processo. A pesquisa da Mihaela Gabriela Belu abordou as dificuldades inerentes à implementação da tecnologia blockchain, como a falta de conhecimento aprofundado sobre a tecnologia entre os interessados, a insuficiência de coordenação entre os atores da indústria e a carência de capacidades internas. Estas barreiras emergiram como desafiadoras para a adoção do sistema por empresas de logística e transporte, que operam sob regulamentações complexas e variadas. Revelou-se que uma parcela minoritária dos executivos detinha uma compreensão clara da tecnologia blockchain e suas implicações, evidenciando uma necessidade premente de esclarecimento e educação sobre as vantagens e aplicabilidades da tecnologia para que esta seja escalada como uma prioridade estratégica nas empresas.

O artigo Belu (2020) postulou que a tecnologia blockchain detém a promessa de transformação das operações logísticas, ao proporcionar visibilidade total da cadeia de suprimentos e ao fomentar a eficiência no despacho aduaneiro. A blockchain foi proclamada como catalisadora para a redução de custos de transação, a eliminação da necessidade de documentos físicos e a potencialização da transparência nas operações de comércio exterior. Adicionalmente, os contratos inteligentes foram reconhecidos por sua capacidade de simplificar e agilizar transações, reduzindo a necessidade de intermediários e possibilitando a execução de pagamentos e contratos de seguro de forma autônoma. Assim, a integração da autoridade aduaneira como um nó nas redes blockchain foi sugerida como uma estratégia viável para aprimorar a análise de risco e otimizar os processos aduaneiros internacionais.

O trabalho de Wang et al. (2021) apresentou um estudo analítico sobre o papel transformador da tecnologia blockchain na logística portuária, explorando a dinâmica competitiva e cooperativa entre portos que optam por adotar ou não a inovação tecnológica. Utilizando um modelo de teoria dos jogos espacial, os autores investigam cenários em que dois portos heterogêneos competem por cargas em um *hinterland* sobreposto, considerando o impacto da tecnologia blockchain na taxa de frete, na demanda do mercado e no lucro. Os resultados do estudo sugerem que, enquanto a tecnologia blockchain tem o potencial de aumentar as taxas de frete e a diferenciação de serviços, sua aplicabilidade depende criticamente da comparação entre o custo operacional unitário e o benefício líquido unitário trazido pela tecnologia. A análise identifica situações de ganho mútuo, onde ambos os portos aplicam tecnologia tradicional, bem como três dilemas do prisioneiro relacionados à adoção da blockchain, que ocorrem quando o custo de configuração é baixo. Para superar esses dilemas, os autores propõem um mecanismo de “compartilhamento da tecnologia blockchain com compensação” (BTSC), que pode atingir ótimos de Pareto, enfatizando a colaboração horizontal como uma estratégia viável para os portos. Além disso, o

estudo avaliou a robustez dos *insights* qualitativos principais através de extensões que consideram competições múltiplas de portos, distribuição discreta dos usuários dos portos e cobertura de mercado incompleta, provando que as conclusões principais do modelo básico permanecem válidas sob várias condições. Wang et al. (2021) reconheceram que, apesar de algumas limitações inerentes ao modelo proposto e motivado pelas práticas atuais, há um vasto potencial para pesquisas futuras, especialmente no que diz respeito ao papel estratégico da tecnologia blockchain em cadeias de suprimento descentralizadas e às atitudes de aversão ao risco dos portos.

No estudo de Cao (2021), intitulado “A Novel Optimal Selection Algorithm for Agricultural Trade Export in Blockchain-Enabled Internet of Things”, foi empreendida uma análise profunda da estrutura de exportação de produtos agrícolas. A pesquisa destacou as características distintas da estrutura de comércio, incluindo a composição das commodities, a distribuição regional, e a orientação do mercado, além das tendências de gestão das exportações. Identificou-se que as exportações agrícolas da China são predominantemente de produtos intensivos em mão-de-obra e estão geograficamente concentradas nas províncias orientais, refletindo as vantagens comparativas e a dotação de recursos agrícolas do país. Estruturas de mercado concentradas e mudanças nos agentes de exportação também foram observadas, indicando um deslocamento do monopólio estatal para um mercado mais diversificado e orientado pela participação de empresas privadas e com investimento estrangeiro.

O ponto central da pesquisa de Cao (2012) foi a criação de um algoritmo de seleção ótima que integra as tecnologias de blockchain e Internet das Coisas (IoT) no comércio de exportação agrícola. Este algoritmo visava a otimização do modo de exportação, através do qual se pretendia aumentar tanto o volume quanto o valor total das exportações de produtos agrícolas. A metodologia avançada utilizou técnicas de modelagem de elementos finitos, análises de sensibilidade e otimização de primeira ordem no software ANSYS para chegar a uma solução eficaz. Foi proposto pelo autor que a diversificação do mercado, juntamente com a consolidação de bases industriais e de processamento profundo, poderia produzir produtos agrícolas distintos com vantagens competitivas para a exportação, enfatizando a importância do desenvolvimento de marcas próprias pelas empresas de exportação agrícola e a gestão aprimorada de qualidade e segurança. Os resultados experimentais do estudo de Cao confirmaram a eficácia do algoritmo proposto, demonstrando um aumento substancial tanto no volume de exportações quanto no valor total da exportação de produtos agrícolas. O algoritmo provou ser uma ferramenta poderosa na melhora da performance do comércio de exportação, validando a premissa de que a aplicação de tecnologias emergentes pode revolucionar as práticas tradicionais de comércio.

A análise bibliométrica e revisão sistemática conduzida sobre as exportações e a aplicação de tecnologias disruptivas, com especial enfoque na blockchain, proporcionaram uma visão detalhada e atualizada do panorama global de pesquisa neste domínio.

Utilizando dados extraídos da base de dados Scopus, o estudo abrangeu o período de 2006 até 10 de novembro de 2023, destacando que o ano de 2023 ainda não havia concluído, e assim, os dados coletados refletiram a pesquisa disponível até essa data. A pesquisa identificou um total de 129 documentos, revelando uma média anual de aproximadamente 2,15 publicações, com um total de 3.836 referências citadas nesses trabalhos. Essa análise revelou também a existência de 377 palavras-chave distintas utilizadas pelos autores, indicando a diversidade temática dentro do campo estudado. Notavelmente, apenas 20 documentos foram identificados como tendo autoria única, sugerindo uma tendência predominante para a colaboração, com uma média de cerca de 3 coautores por documento. As palavras-chave empregadas na busca foram (“export” OR “exportation”) AND (“Blockchain” OR “disruptive Technologies”).

A partir dessa análise, foi possível calcular uma taxa de crescimento anual de 21,39% na publicação de documentos relacionados ao tema, evidenciando um crescente interesse acadêmico e industrial pelo impacto das tecnologias disruptivas, especialmente a blockchain, nas práticas de exportação. O estudo também destacou a média de citações por documento em 10,96, indicando o reconhecimento e a influência desses trabalhos na comunidade científica. A distribuição do tipo de documentos incluiu 54 artigos em periódicos, 14 capítulos de livros, 45 artigos de conferências, 11 revisões de conferências, 1 retratação e 4 revisões, com um total de 350 autores contribuindo para este corpo de conhecimento.

O estudo revelou uma série de tendências e padrões, refletindo a natureza dinâmica e multifacetada do campo, com o blockchain continuando a ser visto como uma ferramenta poderosa e transformadora nas práticas de exportação e no comércio internacional. Através da evolução da estrutura conceitual das palavras-chave dos autores, foi possível discernir a importância relativa dos temas ao longo do tempo.

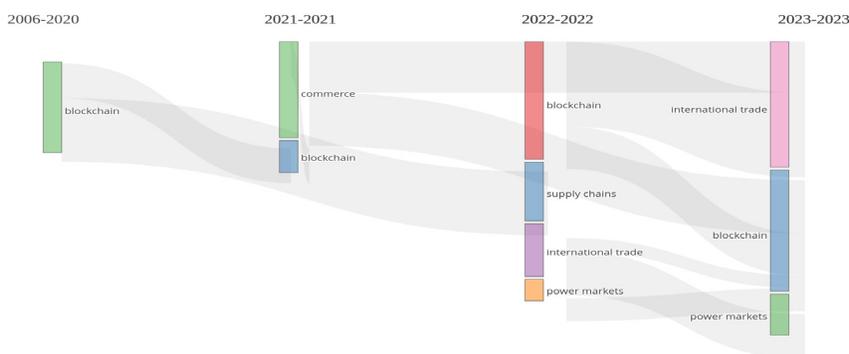


Figura 1 - Evolução Temática dos Temas Propostos Neste Estudo Fonte: Elaboração própria com base em dados coletados do Scopus utilizando o pacote Bibliometrix (R-project)

A Figura 1 apresenta a “Evolução da Estrutura Conceitual das Palavras-chave dos Autores” ao longo de quatro períodos distintos, ilustrando a dinâmica e a inter-relação entre diferentes temas no contexto de análises bibliométricas. Esta análise possibilita identificar como certos conceitos e áreas de pesquisa evoluem, ganham destaque ou interagem ao longo do tempo. Ela oferece insights essenciais sobre tendências e focos dentro de um campo específico.

No primeiro intervalo de tempo, de 2006 a 2020, o conceito de “Blockchain” é introduzido, representado por uma única barra verde, destacando o início do interesse neste tema. Avançando para o período de janeiro de 2021 a dezembro de 2021, há uma expansão temática com a adição de “Comércio”, que se torna o tema predominante, indicado por uma barra verde mais proeminente, enquanto “Blockchain” permanece relevante, evidenciado por uma barra azul menor, sugerindo uma evolução e diversificação de interesse.

No terceiro segmento, de janeiro de 2022 a dezembro de 2022, a complexidade aumenta com a introdução de novos temas: “Cadeias de Suprimentos” e “Comércio Internacional”, representados por barras vermelhas e roxas, respectivamente, ambos conectados ao conceito original de “Blockchain”, indicando interdependência temática. Além disso, “Mercados de Energia” surge como um novo tópico, ilustrado por uma barra laranja, embora não esteja diretamente conectado aos temas anteriores, sugerindo o surgimento de novas áreas de interesse. Finalmente, o último corte, de janeiro a dezembro de 2023, destaca “Comércio Internacional” como o tema mais proeminente, seguido por “Blockchain”, ambos demonstrando uma conexão contínua e evolutiva com temas anteriores, como “Comércio”. “Mercados de Energia” também reaparece, indicando persistência e possível expansão deste tema dentro do campo de estudo.

BLOCKCHAIN E SEU VASTO POTENCIAL DE USO

O blockchain, como o próprio nome sugere, é uma cadeia de blocos, e esta corrente é formada e presa como uma aplicação de criptografia. O blockchain é uma forma de registrar e compartilhar dados. Pode ser visto como um tipo específico de tecnologia de razão distribuída (“DLT”). O Blockchain é um “livro-razão” criptografado digital descentralizado usado para registrar diversas transações. Os princípios subjacentes a esta tecnologia permitem que usuários que não se conhecem ou não confiam uns nos outros construam um grande registro digital que contém informações como: “quem possui o que” (Dos Santos, 2023).

Blockchain é um sistema de autenticação que permite o registro de compra e venda (propriedade) de moedas virtuais como Bitcoin, Ethereum e Ripple. Espera-se, portanto, que os livros-razão distribuídos na forma de blockchain se tornem uma tecnologia que mudará e revolucionará o mundo dos negócios como o conhecemos. Essa tecnologia não apenas permite registros de propriedade de criptomoedas, mas também permite a

execução de diversos tipos de aplicativos, plataformas e sistemas de armazenamento e distribuição de informações. No nível governamental, o blockchain pode ser usado para monitorar e controlar determinadas tarefas, como sistemas eleitorais, arrecadação de impostos, emissão de passaportes, registro de propriedades, concessão de concessões e outros serviços.

Em Cadeia de Suprimentos (Supply Chain), por exemplo, os setores de logística e manufatura tendem a implementar conceitos descentralizados (princípio da blockchain) para rastreamento de mercadorias e contêineres de transporte, por exemplo. Impulsionado pela demanda por maior transparência na cadeia de suprimentos (rastreamento do início ao fim) soluções técnicas abrangentes são imprescindíveis. Blockchain ou conceitos derivados inclinam-se no fornecimento de soluções para inúmeros problemas na logística. A tecnologia Blockchain pode aumentar a eficiência e a transparência da cadeia de suprimentos e positivamente todos os processos logísticos, do armazenamento à entrega e pagamento. Além do aumento da transparência e segurança alcançadas através da blockchain, é possível acelerar o fluxo físico de mercadorias (TIJAN, *et al.*, 2019).

Intimamente relacionada ao conceito de consenso descentralizado, a tecnologia blockchain possui diversos recursos e vantagens que a tornam uma inovação revolucionária no cenário tecnológico moderno. A transparência é um dos pilares desta tecnologia, possibilitada pelo acesso universal a um registro compartilhado de todas as atividades, permitindo uma transparência de dados sem precedentes. A rastreabilidade proporcionada pelo registro preciso de datas e horas permite aos usuários monitorar de forma eficaz o histórico das informações, aumentando a confiabilidade das transações (Da Silva, *et al.* 2021).

A segurança inerente à descentralização do blockchain fornece proteção robusta contra-ataques cibernéticos e aumenta significativamente a proteção de dados. A eficiência também é notável, pois o blockchain elimina a necessidade de um banco de dados central, permite a remoção de intermediários e acelera a execução das transações. Contudo, a confidencialidade é um aspecto importante, uma vez que a transparência inerente à natureza descentralizada do livro-razão torna todas as atividades visíveis para todos os participantes na rede, levantando potencialmente preocupações em matéria de privacidade. Este dilema destaca a importância de uma abordagem equilibrada destinada a equilibrar os requisitos desejados de transparência e confidencialidade ao implementar a tecnologia blockchain.

A última característica destacada, a imutabilidade, significa que uma vez que uma transação ou atividade é verificada por um sistema blockchain, ela é registrada permanentemente e não está sujeita a alterações retroativas. Esta propriedade é baseada na natureza descentralizada da criptografia e do blockchain, que fornece uma camada adicional de confiança e integridade para os dados transferidos. As propriedades combinadas da tecnologia blockchain criam assim uma infraestrutura robusta, transparente e segura que redefine paradigmas em vários campos, desde finanças até logística e gestão da cadeia de abastecimento.

Como supramencionado, um dos objetivos de um blockchain é armazenar informações, o que o torna um banco de dados. Blockchains diferem de outros tipos de banco de dados apenas pela forma como armazenam dados. Embora blockchains possam ser considerados um banco de dados, um banco de dados normalmente não é um blockchain. Os bancos de dados geralmente não usam blocos assinados para armazenar os dados. O quadro 1 mostra as principais diferenças entre os mesmos.

Na era digital a maneira como armazenamos e interagimos com os dados está evoluindo. O Tabela 1 nos proporciona uma comparação detalhada entre duas tecnologias de armazenamento de dados fundamentalmente diferentes: o Blockchain e os bancos de dados tradicionais. Este quadro comparativo esclarece as distinções cruciais em termos de integridade de dados, transações, desempenho de consulta e estrutura organizacional.

	Blockchain	Bancos de dados
Integridade de dados	A estrutura do blockchain torna praticamente impossível que alguém altere os dados sem quebrar a cadeia.	Um ator mal-intencionado pode potencialmente alterar os dados se as medidas necessárias não forem tomadas.
Transações	Os dados só podem ser lidos ou adicionados ao blockchain.	Os dados podem ser criados, lidos, atualizados ou excluídos (operações CRUD).
Consultando desempenho	Os métodos de verificação para garantir a integridade dos dados podem retardar a consulta e o desempenho geral de uma blockchain.	Os bancos de dados fornecem acesso extremamente rápido aos dados.
Estrutura	Blockchains podem ser totalmente descentralizados e não depender de nenhuma autoridade central.	Os bancos de dados são gerenciados centralmente e um administrador possui e controla os dados.

Tabela 1 – Banco de dados e o Blockchain – diferenças significativas

Fonte: Elaboração própria

A tabela 1 resume as diferenças fundamentais entre o Blockchain e os bancos de dados convencionais, contrastando-os em várias dimensões críticas. No que se refere à integridade de dados, o Blockchain sobressai por sua estrutura que impede alterações retroativas sem um consenso amplo, garantindo assim uma segurança praticamente inabalável. Bancos de dados tradicionais, embora eficientes, são vulneráveis a alterações mal-intencionadas se as proteções adequadas não estiverem em vigor.

Quando se trata de transações, o Blockchain permite apenas adições e leituras, reforçando sua natureza imutável, enquanto os bancos de dados oferecem a flexibilidade das operações CRUD (criar, ler, atualizar, deletar), o que é essencial para muitas aplicações empresariais. Em termos de performance de consulta, os mecanismos de verificação do Blockchain podem retardar a recuperação dos dados em comparação com os sistemas de banco de dados tradicionais, que fornecem acesso rápido e eficiente. A estrutura descentralizada do Blockchain elimina a necessidade de uma autoridade central, promovendo um sistema democrático de dados, em contraste com a natureza centralizada dos bancos de dados, que são controlados por um administrador ou uma entidade central.

Pagamentos e liquidações internacionais:	Representaram a maior fatia de mercado (15,9%), destacando seu potencial para simplificar e tornar mais eficientes as transferências internacionais de dinheiro.
Gerenciamento de identidade:	Obteve 11,2% do mercado, evidenciando seu uso para armazenamento seguro e verificação de identidades descentralizado.
Rastreabilidade da cadeia de suprimentos:	Alcançou 9,9% do mercado, mostrando a importância do blockchain para monitorar a movimentação de bens e garantir a autenticidade de produtos.
Contratos inteligentes:	Conquistou 8,8% do mercado, demonstrando seu uso para automação segura e confiável de acordos sem necessidade de terceiros.
Gerenciamento de ativos digitais:	Representou 8,2% do mercado, indicando sua utilidade para gerenciamento de tokens, criptomoedas e outros ativos digitais.
Outros casos de uso relevantes	Registro de terras: 4,5%, Governança: 4,4% Combate à fraude: 4,3%, Microfinanças: 4,2% Saúde: 3,8%, Energia: 3,1%.

Tabela 2 - Participação de mercado da tecnologia Blockchain em todo o mundo em 2021, por caso de uso. Blockchain technology market share forecast worldwide in 2021, by use case.

Fonte: Statista (<https://www.statista.com/statistics/982566/worldwide-top-use-cases-blockchain-technology-by-market-share/>)

Em 2021, como pode ser visto na tabela 2, os pagamentos e liquidações internacionais são os principais casos de uso e representam 15,9% do mercado. Destacando a capacidade da blockchain de tornar uma ferramenta de transferências de divisas internacionais mais simples e eficientes. Com 11,2% e 9,9%, respectivamente, o gerenciamento de identidade e a rastreabilidade da cadeia de suprimentos são as principais áreas onde a tecnologia oferece soluções para o armazenamento seguro de identidades e monitoramento da movimentação de bens. Os dados revelam a importância atual da tecnologia no processo de pagamento internacional. Destaca-se que os pagamentos e liquidações transfronteiriças tornaram-se um caso de uso popular para tecnologias blockchain, pois permitem transferências de dinheiro, ou em outras palavras, remessas, entre países. Em todo o mundo, consumidores e empresas transmitem grandes quantidades de dinheiro internacionalmente e, no passado, este processo permaneceu relativamente caro com transferências bancárias e conversão de moeda. No entanto, mais recentemente, o setor bancário tornou-se o setor dominante mundial para tecnologias blockchain, permitindo que consumidores e empresas transmitam dinheiro internacionalmente e melhorem as remessas, diminuam custos e minimizem a exposição a criptomoedas. Com os próprios bancos usando a tecnologia blockchain, eles eliminam o “intermediário”, que neste caso é a criptomoeda. Esse aumento de popularidade no processo está levando ao aumento previsto no tamanho do mercado mundial de tecnologia blockchain nos próximos anos.

De acordo com dados divulgados pelo Statista¹, em 2023, os gastos globais com soluções blockchain alcançaram a marca de US\$ 16,4 bilhões, evidenciando o crescente interesse e adoção dessa tecnologia em diversos setores. previsão para os próximos anos

1. <https://www.statista.com/statistics/800426/worldwide-blockchain-solutions-spending/>

é ainda mais otimista: é previsto um crescimento de US\$ 67,4 bilhões até 2026, o que representa um CAGR (*Compound Annual Growth Rate*) de 33,7 por cento entre 2023 e 2026. Vários fatores estão contribuindo para o aumento dos investimentos em blockchain, como a maior adoção da tecnologia por governos e empresas, a busca por soluções que ofereçam maior segurança, eficiência e transparência e o desenvolvimento contínuo de novas plataformas e aplicações baseadas em blockchain. 32% dos gastos totalizados em 2023 foram destinados aos serviços financeiros. A manufatura (20%, US\$ 3,28 bilhões), o governo (14%, US\$ 2,30 bilhões), a tecnologia da informação e comunicação (12%, US\$ 1,97 bilhões), a saúde (8%, US\$ 1,31 bilhões) e outros setores (14%, US\$ 2,30 bilhões). Além disso, os investimentos são distribuídos por várias regiões. A América do Norte tem o maior investimento de US\$ 7,2 bilhões, com a Europa seguida por US\$ 4,8 bilhões e a Ásia-Pacífico com US\$ 3,2 bilhões. A previsão até 2026 indica um aumento significativo dos gastos em todos os setores, destacando a projeção de que os serviços financeiros atinjam US\$ 22,7 bilhões, seguidos de perto por manufatura, governo, tecnologia da informação e comunicação, saúde, e outros setores, refletindo a ampliação e a consolidação do uso da tecnologia blockchain em uma ampla gama de indústrias e serviços.

O outro caso de uso popular que detém uma parcela significativa do mercado de tecnologias blockchain é a linhagem e proveniência do lote, que impactou as operações comerciais de organizações especializadas em software B2B, TI e serviços de informática. Este caso de uso permite muito simplesmente a verificação da origem e autenticidade dos componentes do produto à medida que avança ao longo da cadeia de valor. Em outras palavras, atua como uma genealogia de produto. A linhagem e a procedência do lote como caso de uso auxiliam na conformidade regulatória, em recalls específicos e evitam componentes falsificados (KÖHLER, e PIZZOL, 2020)

Por meio de sua arquitetura imutável e descentralizada, o blockchain oferece rastreabilidade completa e transparente ao longo de toda a cadeia de exportação. Todas as etapas do processo de exportação são registradas em blocos interconectados, criando um registro duradouro. Essa característica vital permite que todos os membros da cadeia de suprimentos, desde o produtor até o consumidor final, obtenham informações precisas e verificáveis sobre a origem, produção, logística e distribuição dos produtos. O Quadro 1 mostra exemplos de aplicações do Blockchain e do potencial transformador da tecnologia através de estudos de caso de algumas das corporações mais proeminentes do mundo. Estes exemplos ilustram não apenas a aplicabilidade da tecnologia em diferentes setores, mas também demonstram o impacto significativo que ela pode ter na otimização de processos e na garantia de confiança e transparência para os consumidores.

Walmart:	A Walmart implementou o blockchain para rastrear a origem de produtos alimentícios. Isso permite uma resposta mais rápida em casos de recalls, ao mesmo tempo em que oferece aos consumidores informações detalhadas sobre a procedência dos produtos ² . O Walmart liderou a adoção da tecnologia blockchain para melhorar a rastreabilidade de sua complexa cadeia de suprimentos. O projeto, iniciado em 2016 com a IBM, resultou em uma redução substancial no tempo de rastreamento de produtos. Um exemplo disso foi o caso das mangas, que passou de vários dias por apenas 2,2 segundos. A introdução dessa tecnologia na China para rastrear a origem da carne suína demonstra o compromisso da empresa com a transparência. Paralelamente, em 2017, grandes players da indústria estabeleceram alianças estratégicas que resultaram no rastreamento bem-sucedido de mais de 25 produtos diversificados. O lançamento da Plataforma de Rastreabilidade Blockchain na China, em 2019, utilizando a tecnologia VeChain, assinala outro marco, assim como a bem-sucedida implementação da rastreabilidade ponta a ponta através de blockchain para exportações de camarão da Índia para os Estados Unidos. Estas iniciativas testemunham o comprometimento contínuo do Walmart com a inovação na gestão de sua cadeia de suprimentos e com as práticas de segurança alimentar.
IBM Food Trust	A plataforma Food Trust da IBM usa blockchain para rastrear alimentos desde a fabricação até o ponto de venda. Empresas de grande porte, como Carrefour e Nestlé, estão envolvidas nessa iniciativa ³ , (KSHETRI, 2019).
Maersk e IBM (TradeLens)	A Maersk, uma empresa do transporte marítimo, colaborou com a IBM para criar o TradeLens, uma plataforma baseada em blockchain para a indústria de transporte e logística. Ela visa aumentar a eficiência e visibilidade nas operações globais, (AHMED, & RIOS, 2022)
Everledger	A Everledger utiliza blockchain para rastrear a proveniência de diamantes e outras pedras preciosas. Isso ajuda a autenticar a origem e garantir que os produtos não sejam provenientes de fontes envolvidas em conflitos ou atividades ilegais, (Smits & Hulstijn 2020).
De Beers	A VeChain é uma plataforma blockchain que tem parcerias com várias empresas para rastrear a autenticidade e qualidade de produtos, desde alimentos até produtos de luxo, (Rios Ato & Vera Zapata, 2021).
FedEx	FedEx está explorando como o blockchain pode ser aplicado em sua cadeia de suprimentos para melhorar a visibilidade e eficiência no rastreamento de remessas, (Duarte, 2021, e Schmitz & Rule, 2019).

Quadro 1 - Utilização do blockchain para rastreabilidade e transparência.

Fonte: Elaboração própria com base em pesquisa realizada.

O Quadro 1 destaca iniciativas pioneiras de grandes empresas que adotaram o Blockchain para melhorar a rastreabilidade e eficiência em suas operações. A Walmart, como um dos maiores varejistas do mundo, empregou o Blockchain para rastrear a origem dos alimentos, reduzindo drasticamente o tempo necessário para identificar e reagir a possíveis problemas de segurança alimentar. O projeto, em colaboração com a IBM, não apenas acelerou o rastreamento de produtos como as mangas, mas também expandiu sua aplicação para outros itens, promovendo uma cadeia de suprimentos mais transparente e segura. A plataforma IBM Food Trust é outro exemplo notável, permitindo que grandes empresas alimentícias acompanhem seus produtos desde a produção até o ponto de venda final. No setor de transporte e logística, a Maersk e a IBM uniram forças para criar o TradeLens, que visa aprimorar a visibilidade operacional em escala global. A Everledger,

² https://tech.walmart.com/content/walmart-global-tech/en_us/news/articles/blockchain-in-the-food-supply-chain.html
³ <https://www.ibm.com/products/supply-chain-intelligence-suite/food-trust>

por sua vez, demonstra o uso do Blockchain para garantir a autenticidade de itens de alto valor como diamantes, assegurando que eles não sejam oriundos de zonas de conflito ou atividades ilegais.

Blockchain e Contratos Inteligentes

Os Contratos inteligentes representam uma das inúmeras aplicações do blockchain, oferecendo a possibilidade de transações automatizadas e confiáveis. Esses protocolos computacionais executam as condições de um contrato automaticamente assim que os critérios predefinidos são atendidos, sem a necessidade de intermediários. Em um estudo publicado por Clack et al. (2016), os autores elucidam que contratos inteligentes não apenas codificam termos legais, mas também asseguram a execução e a aplicação desses termos, trazendo uma nova camada de eficiência ao processo de exportação. A automação de tarefas como a confirmação de recebimento de bens e a liberação de pagamentos pode agilizar significativamente as operações, cortando a verificação manual e a burocracia associada.

Ademais, contratos inteligentes têm o potencial de transformar a logística de exportação, reduzindo incertezas e fortalecendo a confiança entre as partes. Um estudo de Saberi et al. (2019) destacou que essa tecnologia pode diminuir drasticamente os tempos de espera e os erros associados à documentação em papel, que são comuns no comércio internacional. Com contratos inteligentes, a verificação de documentos e o cumprimento de regulamentos aduaneiros podem ser realizados em tempo real, permitindo que as mercadorias se movam mais rapidamente através das fronteiras. Os contratos inteligentes podem não só acelerar o processo de exportação, mas também reduzir os custos operacionais, traduzindo-se em economias significativas para exportadores, tornando o bem mais competitivo no mercado internacional.

No entanto, a implementação de contratos inteligentes no comércio internacional ainda enfrenta desafios regulatórios e técnicos. A interoperabilidade entre diferentes sistemas de blockchain e a conformidade com as leis internacionais são obstáculos que precisam ser superados, como apontado por Christidis e Devetsikiotis (2016). A padronização de contratos inteligentes e o desenvolvimento de frameworks legais que os reconheçam são passos fundamentais para sua adoção em larga escala. Embora os desafios sejam reais, o potencial de simplificação e aceleração das transações comerciais torna o esforço de superá-los uma perspectiva valiosa para a economia global.

A adoção de contratos inteligentes no comércio internacional ainda está em uma fase relativamente inicial, e muitas das implementações são conduzidas em forma de projetos-piloto ou em parcerias estratégicas entre startups de tecnologia, empresas multinacionais e instituições financeiras. O quadro 2 apresenta alguns exemplos de empresas e consórcios que aplicaram contratos inteligentes no comércio internacional.

Maersk e IBM	A transportadora marítima Maersk e a IBM lançaram a TradeLens, uma plataforma de logística e comércio global baseada em blockchain que utiliza contratos inteligentes para melhorar a eficiência das operações de transporte (https://www.maersk.com).
Barclays e Wave	O banco Barclays e a startup israelense Wave realizaram o que foi relatado como a primeira transação de comércio internacional usando blockchain, que permitiu a exportação de queijo e manteiga da Irlanda para as Seychelles (Ganne, 2018).
We.trade	Uma colaboração entre vários bancos europeus, incluindo HSBC, Rabobank e Deutsche Bank, resultou na criação da plataforma we.trade. Esta plataforma usa contratos inteligentes para facilitar o financiamento do comércio e a execução de transações transfronteiriças (https://www.ibm.com/case-studies/wetrade-blockchain-fintech-trade-finance#About+we.trade+Innovation+DAC).
Commerzbank e Mercedes-Benz	O banco alemão Commerzbank testou contratos inteligentes para transações de financiamento de máquinas e equipamentos, com a Mercedes-Benz como parceira (Ganne, e Patel 2020)
Skuchain	A startup Skuchain tem parcerias com várias empresas para aplicar sua plataforma baseada em blockchain, que utiliza contratos inteligentes para otimizar a cadeia de suprimentos e o financiamento do comércio. (https://www.skuchain.com/)
Louis Dreyfus Company (LDC)	A LDC, uma das maiores comerciantes de commodities agrícolas do mundo, realizou uma transação de comércio internacional usando blockchain para uma remessa de soja dos Estados Unidos para a China, que foi apoiada por contratos inteligentes para agilizar o processo (https://www ldc.com/press-releases/louis-dreyfus-company-ing-societe-generale-and-abn-amro-complete-the-first-agricultural-commodity-trade-through-blockchain/)

Quadro 2 - Empresas e consórcios que aplicaram contratos inteligentes no comércio internacional.

Fonte: Elaboração própria

O Quadro 2 apresenta a vanguarda da implementação de contratos inteligentes no setor de comércio internacional, destacando empresas e consórcios que tomaram a iniciativa de integrar esta tecnologia em suas operações. A colaboração entre a Maersk e a IBM, que resultou no lançamento da TradeLens, é um marco significativo, marcando um salto para a digitalização da logística do transporte marítimo. Desde o seu início em 2018, a TradeLens tem visado utilizar a transparência e segurança do blockchain para facilitar uma troca de informações mais eficiente e confiável entre os diversos atores envolvidos no comércio global. Por outro lado, a parceria entre o Barclays e a startup Wave, em 2016, sinalizou um avanço prático na aplicação da tecnologia blockchain, com a realização da primeira transação de comércio internacional documentada que utilizou contratos inteligentes para exportar produtos lácteos da Irlanda para as Seychelles, estabelecendo um precedente para futuras transações similares.

A plataforma we.trade, desenvolvida por um consórcio de bancos europeus, que desde 2018 tem proporcionado uma solução de financiamento do comércio baseada em blockchain, simplificando o processo de transações transfronteiriças e reforçando a segurança. Além disso, a parceria entre Commerzbank e Mercedes-Benz em 2020, com foco no financiamento de máquinas e equipamentos via contratos inteligentes, ilustra como as grandes corporações estão buscando eficiência por meio da inovação tecnológica. A Skuchain, com seu modelo baseado em contratos inteligentes, e a transação de soja da

Louis Dreyfus Company (LDC) em 2018, mostram o potencial disruptivo do blockchain em otimizar a cadeia de suprimentos e agilizar as operações comerciais internacionais.

A economia brasileira, já reconhecida pela sua expressiva capacidade exportadora, tem nos contratos inteligentes uma ferramenta promissora para potencializar ainda mais sua presença no mercado internacional. Com o superávit comercial observado em 2022, percebe-se que há uma demanda global crescente por produtos do Brasil, uma tendência que continuou a se manifestar em 2023. Os dados referentes às exportações brasileiras em dezembro de 2023, que alcançaram a cifra de 28.839 milhões de dólares, e o acumulado anual, com expressivos 339.673 milhões de dólares, reafirmam a posição do país como um gigante exportador. A integração de contratos inteligentes neste panorama poderia endereçar eficientemente os gargalos logísticos e burocráticos, acelerando a movimentação de produtos como soja, minério de ferro e carne, essenciais na composição da pauta exportadora e que, conforme os números de 2023, continuam em trajetória de expansão.

Ao considerar o “Custo Brasil”, os contratos inteligentes emergem como uma solução inovadora capaz de mitigar os desafios econômicos internos. A adoção dessa tecnologia poderia simplificar a cadeia logística, reduzindo os custos operacionais e tributários que tanto afetam a competitividade dos produtos brasileiros no exterior. A transição para um comércio facilitado por blockchain não apenas minimizaria a burocracia, como também aumentaria a confiabilidade das transações, fatores que são decisivos para atrair investimentos e parceiros comerciais internacionais. No cenário de 2023, este avanço tecnológico representa um caminho para o Brasil superar os desafios impostos pela pandemia e se consolidar como uma economia forte, resiliente e ágil no comércio global, garantindo o aumento da competitividade dos seus produtos e a redução do “Custo Brasil”, contribuindo assim para um crescimento econômico sustentável e de longo prazo.

Com contratos inteligentes, cada etapa da exportação, desde a produção até a entrega, seria automaticamente documentada em um registro imutável e acessível para todas as partes envolvidas. Este processo implementado reduziria o tempo gasto em processos de verificação manual, mitigava o risco de fraudes e erros de documentação, e pode, também, acelerar os procedimentos de inspeção e liberação aduaneira. Além disso, ao proporcionar uma maior rastreabilidade dos produtos, a tecnologia blockchain pode ajudar a garantir a qualidade e a origem dos produtos, aspectos cada vez mais valorizados pelos consumidores internacionais.

Para que o Brasil possa colher os benefícios plenos da tecnologia blockchain, é imprescindível que haja investimentos significativos, tanto do setor público quanto do privado. O investimento em infraestrutura tecnológica é crucial para criar um ambiente propício à adoção do blockchain. Isso inclui a expansão do acesso à internet de alta velocidade, a capacitação de profissionais na área de tecnologia da informação, e o desenvolvimento de plataformas e soluções adaptadas às necessidades específicas das empresas brasileiras.

Adoção da blockchain e a redução de Custos e Intermediários

No contexto do comércio exterior, a incorporação da tecnologia blockchain propicia um alicerce para a redução substancial de custos operacionais, sobretudo pela diminuição da necessidade de intermediários nas transações comerciais. A natureza descentralizada e imutável da blockchain facilita a confiança direta entre as partes, mitigando a dependência de agentes financeiros e intermediários logísticos cuja função primordial tem sido assegurar a integridade e a execução dos acordos comerciais. Nos contratos inteligentes, como supramencionado, as condições contratuais são codificadas na blockchain e executadas automaticamente quando os critérios acordados são atendidos, eliminando a exigência de garantias externas e reduzindo o campo para disputas e litígios. Conseqüentemente, isso não apenas condensa a cadeia de valor, mas também reflete em uma diminuição tangível das taxas de serviço e comissões que tipicamente oneram as operações de exportação.

Destaca-se que a adoção da blockchain pode ser usado para simplificar de processos administrativos e a redução de atividades manuais, que são notoriamente custosas e susceptíveis a erros. A transição para um sistema de documentação digital baseado em blockchain permite a automação de tarefas como a verificação de documentos e a conformidade regulatória, que atualmente demandam uma quantidade considerável de trabalho manual e revisão. Ao assegurar a veracidade e a integridade dos dados através de um registro auditável e à prova de alterações, a blockchain minimiza os encargos associados à auditoria e ao controle de qualidade. Este avanço pode resultar em um processo mais enxuto e eficiente, onde as economias de tempo traduzem-se diretamente em economias financeiras, fomentando uma estrutura de comércio mais ágil e menos onerosa.

De acordo com Sun, et al (2020), a adoção da tecnologia blockchain pode resultar na diminuição dos custos em múltiplas frentes dentro de uma organização. Esta redução é analisada sob o prisma da teoria dos custos de transação e da teoria da agência, que são fundamentais para compreender a economia das interações organizacionais. Os autores argumentam que a blockchain pode transformar os custos de transação e agência de maneiras significativas: A implementação de contratos inteligentes e a descentralização proporcionada pela blockchain podem reduzir o tempo de execução das transações e aumentar o volume de transações, tornando os processos mais eficientes. O estudo de Sun, et al (2020) também destaca o papel transformado dos terceiros, que se tornam cruciais na validação das transações e na redução dos custos de transação. A tecnologia de validação em maturação e os contratos inteligentes são fatores que contribuem para a diminuição dos custos associados ao papel dos intermediários tradicionais. Para os autores, Ao identificar a mudança fundamental nas estruturas de custos e formas organizacionais, os gestores podem configurar adequadamente os recursos corporativos para inovar o modelo de negócios, potencialmente reduzindo custos operacionais e administrativos.

Kfoury (2021) destaca que a blockchain é uma tecnologia revolucionária com potenciais benefícios em diversos setores, incluindo finanças, imobiliário, cadeia de suprimentos e varejo. O foco do trabalho é avaliar como a blockchain pode reduzir os custos das transações financeiras especificamente na indústria de varejo, explorando tanto o uso direto quanto indireto dessa tecnologia para alcançar eficiência em custos. A redução dos custos de transação e a agilização do tempo de liquidação são identificados como benefícios cruciais da blockchain, devido ao seu mecanismo de consenso descentralizado. A mudança para operações financeiras baseadas em blockchain pode dar autonomia às operações de back-office e diminuir custos financeiros associados à verificação da legitimidade das transações financeiras, aumentando a transparência, uma vez que todos os registros de transações ficarão disponíveis para todas as partes envolvidas. O autor estimou que a blockchain poderia reduzir o custo operacional das transações internacionais e diminuir os custos operacionais anuais das empresas e os riscos de investimento em bilhões de dólares. Além disso, a blockchain poderia gerar economias significativas em pagamentos internacionais, negociação de valores mobiliários e conformidade regulatória.

APLICAÇÕES DA BLOCKCHAIN NO CICLO DE VIDA DO COMÉRCIO EXTERIOR: UM MAPA CONCEITUAL

Na era da globalização e do comércio global em constante expansão, a integração de tecnologias avançadas tornou-se uma chave para o crescimento e a otimização dos processos comerciais. Neste contexto, apresenta-se um mapa conceitual que explora a integração da blockchain no comércio exterior e mostra como a citada tecnologia disruptiva pode redefinir as operações convencionais e aumentar a competitividade global.

A Figura 1, intitulada “Integração de Blockchain no Comércio Exterior: Um Mapa da Nova Fronteira”, apresenta um esquema estruturado que delinea algumas das possíveis aplicações da tecnologia blockchain ao longo do ciclo de vida do comércio exterior. Este mapa conceitual desdobra-se em componentes-chave, desde a produção do bem até o seguro da carga, abrangendo a rastreabilidade e procedência, negociação e assinatura de contratos, gestão de logística portuária, até a entrega final do produto. Em cada segmento do mapa é evidenciando como a blockchain pode revolucionar as operações tradicionais, conferindo maior segurança, eficiência e transparência. A saber a seção de produção do bem destaca como a blockchain assegura a origem e a qualidade dos bens através de um registro imutável, enquanto a gestão de portos e logística revela a possibilidade de otimização das operações portuárias via agendamentos coordenados e pagamentos automatizados.

A integração da tecnologia blockchain no comércio exterior representa uma inovação transformadora com potencial para redefinir as práticas convencionais de operações de cadeia de suprimentos e transações transfronteiriças. A blockchain, com seu registro

distribuído e resistente à alteração, proporciona uma fonte confiável de verificação para a procedência dos bens, permitindo que todas as partes interessadas — produtores, reguladores e consumidores — acessem informações transparentes e imutáveis sobre a jornada do produto, desde a manufatura até a entrega. Tal capacidade de rastreamento fortalece a confiança entre os participantes do mercado e otimiza o controle de qualidade e a conformidade regulatória.

Como supracitado, a aplicabilidade de contratos inteligentes (*smart contracts*) é um avanço meritório, pois possibilita a execução autônoma de acordos comerciais. Eles são programados para executar, verificar e impor a negociação ou desempenho de um contrato de maneira automática e segura. Isso resulta em uma redução substancial de discrepâncias contratuais e minimiza a necessidade de intermediários, o que diminui os custos e acelera as transações. O uso de contratos inteligentes pode ser particularmente transformador em termos de cumprimento dos termos internacionais de comércio que regem as responsabilidades dos compradores e vendedores nas entregas internacionais.

No tocante à documentação contratual, a blockchain oferece um ambiente seguro para a assinatura e o armazenamento de contratos. A tecnologia proporciona uma solução para os desafios de autenticação e validação, através do uso de assinaturas digitais que podem ser verificadas de maneira indubitável, assegurando a autenticidade e a integridade dos documentos. A inalterabilidade inerente à blockchain garante que uma vez que um contrato é assinado e registrado, ele não pode ser alterado ou contestado, o que elimina a possibilidade de falsificações e proporciona uma trilha de auditoria transparente e à prova de falhas (Figura 2).

A implementação da blockchain no campo das exportações traz um aprimoramento notável na eficiência e segurança, ao oferecer um meio de armazenamento e validação para a documentação necessária, como cartas de crédito, faturas comerciais e listas de embalagem, como pode ser visto na Figura 2. A conversão dessa documentação para um formato digital e sua consequente inserção na blockchain significa que todas as partes envolvidas têm acesso a um conjunto coerente de documentos que refletem em tempo real o estado atual das transações. Isso não apenas simplifica o processo de verificação por autoridades aduaneiras e outros órgãos reguladores, mas também acelera o processo de exportação, criando um ambiente mais ágil e econômico para o comércio global.

Como pode ser visto na Figura 2, O mapa foi estruturado em torno de cinco fases do processo de exportação, cada uma destacando como a tecnologia blockchain pode otimizar as práticas atuais. Na Produção de Bens, fase inicial, a blockchain pode ser utilizada para garantir a rastreabilidade e a autenticidade dos produtos. A tecnologia permite a criação de um registro imutável que acompanha cada produto desde a matéria-prima até a produção final. Isso não apenas aumenta a confiança entre as partes envolvidas, mas também facilita a conformidade com as normas e regulamentos internacionais, essenciais para a exportação. Pode também ser usado na certificação de Qualidade: Certificados de qualidade e inspeções podem ser registrados na blockchain, proporcionando credibilidade imutável.

Na etapa de negociação de Bens, Seguro de Crédito e Carta de Crédito a tecnologia blockchain introduz transparência e segurança inéditas nas negociações de bens, especialmente no que tange ao seguro de crédito e à emissão de cartas de crédito. Através de contratos inteligentes, condições pré-estabelecidas são automaticamente cumpridas quando as partes atendem a seus requisitos, simplificando e agilizando o processo de negociação e financiamento. Outra aplicação possível é a validação de Partes, a blockchain pode ser utilizada para a verificação de identidade e credenciais das partes envolvidas. Os contratos elaborados ao longo do processo podem ser assinados digitalmente e armazenados na blockchain, garantindo integridade e imutabilidade das informações. A própria rede garantiria a integridade e reputação, quando houvesse, sem a necessidade de um cartório para validação e registro. Por exemplo, na solicitação da Carta de Crédito: O comprador (importador) solicita a emissão de uma carta de crédito ao seu banco, fornecendo detalhes da transação, incluindo informações sobre o vendedor (exportador), o valor da transação e os documentos necessários para a liberação do pagamento. Esta solicitação é registrada na blockchain, criando um contrato inteligente. O banco do comprador analisa a solicitação e, uma vez aprovada, emite a carta de crédito. A emissão é realizada por meio da blockchain, onde o contrato inteligente é atualizado para refletir a emissão e os termos específicos da carta de crédito. O banco do vendedor é notificado automaticamente sobre a emissão através da blockchain. O vendedor, por sua vez, ao ser notificado pelo seu banco sobre a carta de crédito, revisa os termos e, se concordar, inicia o processo de embarque da mercadoria. A aceitação do vendedor é também registrada na blockchain, garantindo que todas as partes tenham visibilidade e concordância com os termos. Na fase de embarque e documentação, o vendedor providencia todos os documentos exigidos pela carta de crédito, como por exemplo, a fatura comercial e o conhecimento de embarque. Estes documentos são digitalizados e carregados na blockchain, tornando-os acessíveis ao banco do comprador para verificação. Após essa etapa, há então a verificação e Liberação do Pagamento: O banco do comprador verifica automaticamente os documentos contra os termos estabelecidos na carta de crédito utilizando a blockchain. Se os documentos estiverem em conformidade, o contrato inteligente executa a liberação do pagamento ao vendedor. A liquidação do pagamento é feita diretamente na blockchain, transferindo os fundos da conta do comprador para a conta do vendedor. Uma vez que o pagamento é recebido, o contrato inteligente na blockchain é atualizado para refletir a conclusão da transação. Isso serve como uma confirmação final e imutável de que a transação foi concluída satisfatoriamente, de acordo com os termos acordados.

Na etapa de Embarque de Bens e Seguro de Carga: A tecnologia blockchain pode proporcionar uma maneira eficiente de registrar e monitorar o embarque de bens, garantindo que todas as partes tenham acesso a informações atualizadas sobre a localização e o estado dos produtos. Além disso, a integração de contratos inteligentes pode automatizar a ativação de seguros de carga, oferecendo proteção imediata contra possíveis danos ou

perdas durante o transporte. Na gestão de Portos e Logística, a blockchain pode contribuir na gestão portuária e a logística, oferecendo soluções para o rastreamento de contêineres, a autenticação de documentos e a simplificação dos procedimentos de alfândega. Isso resulta em uma redução significativa dos tempos de espera nos portos e uma maior eficiência logística.



Figura 2 – Integração de Blockchain no Comércio Exterior: Um Mapa da Nova Fronteira

Fonte: Elaboração própria

CONCLUSÃO

A tecnologia blockchain apresenta um paradigma revolucionário para o comércio exterior, cuja adoção poderá resultar em uma evolução significativa na maneira como as transações internacionais são estruturadas e executadas. A integração da tecnologia blockchain ao comércio exterior emerge como um paradigma disruptivo, prenunciando uma remodelação das operações tradicionais e impulsionando a competitividade no cenário

global. A presente pesquisa teve como objetivo versar sobre o potencial transformador da blockchain ao longo do ciclo de vida do comércio exterior, evidenciando sua capacidade de revolucionar práticas consolidadas e assegurar uma maior segurança, eficiência e transparência nas transações internacionais. Através do mapa conceitual, identificou-se pontos estratégicos de intervenção na qual a blockchain não apenas simplifica processos, mas também propõe soluções inovadoras para desafios históricos relacionados à rastreabilidade, negociação e gestão logística.

Com casos de uso que vão desde gerenciamento de ativos digitais até pagamentos e liquidações internacionais, o mercado de tecnologia Blockchain em 2021 mostra como o blockchain está se expandindo em várias áreas. Isso mostra o potencial que tem para mudar as coisas em várias áreas, principalmente em pagamentos internacionais, onde domina com 15,9% do mercado. O crescimento global dos gastos com soluções blockchain é projetado para atingir US\$ 67,4 bilhões até 2026, refletindo o crescente interesse e adoção dessa tecnologia em várias indústrias. Isso mostra quão importante é estudar como a tecnologia disruptiva pode ser mais bem integrada em várias áreas para aumentar a eficiência, segurança e transparência.

A capacidade da blockchain de garantir a origem e a qualidade dos bens por meio de registros imutáveis é um componente essencial para a confiança e a integridade no comércio global. Esta tecnologia disruptiva fortalece as relações entre produtores, reguladores e consumidores, permitindo a criação de um ambiente onde a verificação da procedência e a conformidade regulatória são facilitadas por um sistema transparente e auditável. Este avanço representa uma mudança significativa no controle de qualidade e na eficiência da cadeia de suprimentos, o que resulta em uma redução de riscos e uma otimização do fluxo global de produtos.

Os contratos inteligentes se destacam como um avanço, oferecendo um mecanismo para a execução autônoma de acordos comerciais de maneira segura, eficiente e ágil. A automatização proporcionada por esses contratos diminui discrepâncias, reduz a necessidade de intermediários e acelera as transações, resultando em economias significativas de tempo e custos. A blockchain também oferece uma solução robusta para os desafios de autenticação e validação de documentação contratual, através de assinaturas digitais verificáveis e um registro imutável. Isso garante a autenticidade e a integridade dos documentos, eliminando a possibilidade de falsificações e proporcionando uma cadeia de informações auditáveis e transparente.

Além disso, a aplicação da blockchain a documentação necessária para exportações, como faturas comerciais e cartas de crédito, é uma descoberta que muda a maneira como esses documentos são processados, verificados e armazenados. A digitalização e o registro desses documentos essenciais facilitam o processo de verificação por autoridades aduaneiras, simplificam os procedimentos de exportação e criam um ambiente de comércio mais dinâmico e menos propenso a erros e fraudes.

REFERENCES

- Ahmed, W. A., & Rios, A. (2022). Digitalization of the international shipping and maritime logistics industry: A case study of TradeLens. In *The digital supply chain* (pp. 309-323). Elsevier.
- Belu, M. G. (2020). Blockchain technology and customs procedures. *Romanian Economic Journal*, 23(78), 13-26.
- Cao, S. (2021). A novel optimal selection algorithm for agricultural trade export in blockchain-enabled Internet of Things. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2021, 1-10.
- Chang, S. E., Chen, Y. C., & Wu, T. C. (2019). Exploring blockchain technology in international trade: Business process re-engineering for letter of credit. *Industrial Management & Data Systems*, 119(8), 1712-1733.
- Christidis, K., & Devetsikiotis, M. (2016). Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things. *IEEE Access*.
- Clack, C. D., Bakshi, V. A., & Braine, L. (2016). Smart Contract Templates: foundations, design landscape and research directions. *ArXiv*.
- Duarte, E. L. (2021). *Segurança da informação em smart cities usando blockchain* (Doctoral dissertation, Mestrado em Sistemas de Informação e Gestão do Conhecimento).
- dos Santos, D. R. (2023). *Finanças Digitais*. Livro. Amazon.
- Ganne, E. (2018). Can Blockchain revolutionize international trade? (p. 152). Geneva: World Trade Organization.
- Ganne, E., & Patel, D. (2020). *Blockchain & DLT in Trade: Where do we stand?*. World Trade Organization.
- Koha, L., Dolguiband, A., & Sarkis, J. (2020). Blockchain in transport and logistics – paradigms and transitions. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2055-2058. <invalid URL removed>
- Kfoury, B. (2021). The role of blockchain in reducing the cost of financial transactions in the retail industry. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 2889, pp. 10-22).
- Köhler, S., & Pizzol, M. (2020). Technology assessment of blockchain-based technologies in the food supply chain. *Journal of cleaner production*, 269, 122193.
- McDaniel, C. A., & Norberg, H. C. (2019). Can blockchain technology facilitate international trade?. *Mercatus Research Paper*.
- Rios Ato, L. N., & Vera Zapata, A. L. (2021). *Tecnología Blockchain y la logística internacional en el sector agrícola de Latinoamérica*.
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*.
- Schmitz, A., & Rule, C. (2019). Online dispute resolution for smart contracts. *J. Disp. Resol.*, 103.
- Smits, M., & Hulstijn, J. (2020). Blockchain applications and institutional trust. *Frontiers in Blockchain*, 3, 5.

Sun, RT, Garimella, A., Han, W., Chang, HL e Shaw, MJ (2020). Transformação do custo de transação e do custo de agência em uma organização e a aplicabilidade do blockchain – Um estudo de caso de seguro Peer-to-Peer. *Fronteiras em Blockchain*, 3 , 24.

Tijan, e.; Aksentijević, s.; Ivanić, k.; Jardas, M. Blockchain technology implementation in logistics. *Sustainability*, v. 11, n. 4, p. 1185, 2019

Da Silva, J. O. D., Dos Santos, D. R., Nobrega J. e Dias, F. Estudo da aplicação do blockchain